

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Б. У. БАРЩЕВСКИЙ, Б. Т. ИВАНОВ

ОБЪЕМНАЯ ФОТОГРАФИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ИСКУССТВО» МОСКВА 1970

Авторы рассказывают о природе объемного восприятия окружающего нас мира, о том, как получить объемное изображение на плоскости, какую аппаратуру применять для этого.

Описывают способы съемки одним однообъективным аппаратом, двумя однообъективными аппаратами, стереофотоаппаратами и аппаратами со стереонасадкой.

Рассказывают о применении стереофотографии в науке и технике.

Рассчитана на широкий круг читателей.

Одновременно с процессом развития материальной культуры общества непрерывно совершенствовались и методы получения изображения.

Самая лучшая картина, самый лучший фотоснимок, так же как и изображение, выполненное первобытным человеком, передают реальный трехмерный мир на плоскости, т. е. то, что существует в трех измерениях, переносится в систему из двух измерений. Однако поскольку человеческое зрение и сознание привыкли к такому изображению, мы не замечаем тех недостатков, которые получаются при изображении объемных предметов на плоскости. Для нивелирования этих недостатков служат такие средства передачи изображения, как перспективное расположение предметов, игра света и тени, перекрытие одних предметов другими.

В течение многих лет велись поиски возможностей получения таких изображений, чтобы картины, фотографии, чертежи при их рассматривании выглядели бы объемными (стереоскопическими).

Появление и развитие стереоскопического метода позволяет получать объемные изображения на плоскости. Этот метод использует особенности нашего зрения, которые заключаются в том, что при раздельном одновременном восприятии обоими глазами лучей света, исходящих от рассматриваемых объектов, в нашем сознании возникает объемное изображение этих объектов. Поэтому, если мы создадим плоские изображения каких-либо объектов в том виде, в каком они видны каждому глазу в отдельности, и будем их рассматривать одновременно с тем неизменным условием, что каждый глаз будет видеть только одно, ему предназначенное изображение, то в нашем сознании возникнет объемное восприятие объекта.

Два таких изображения предмета легко получить, снимая объект двухобъективным фотоаппаратом или же дважды фотографируя его однообъективным фотоаппаратом с двух точек зрения, а затем рассматривая одновременно оба изображения. При таком фотографировании создается

так называемая стереопара. Если эту стереопару рассматривать так, чтобы каждый глаз видел только предназначенный для него снимок, что достигается, например, при помощи стереоскопа, разноцветных очков или соответствующего раstra, можно увидеть предметы объемными, т. е. такими, какими они являются в действительности.

Современная стереоскопия дает возможность при одновременном рассматривании двух цветных плоских изображений предметов увидеть их пространственными, объемными, красочными.

Стереоскопический метод фотографирования широко применяется в науке, технике, промышленности, искусстве. Ярким примером применения стереоскопической фотографии является получение фотографических стереопар на искусственных спутниках Земли (метеорологических) и спутниках Луны при помощи установленных на них телевизионных камер. Передача этих изображений на Землю и прием их осуществляют средствами радиоэлектроники, а качество их вполне удовлетворительное.

Почему мы видим окружающее?

Для того чтобы узнать, каким образом мы видим объекты окружающего нас мира объемными, познакомимся с явлениями и законами, объясняющими восприятие изображений не только объемных, но и плоскостных.

Окружающий нас мир мы видим благодаря органам зрения — глазам.

Однако чтобы увидеть желаемое даже при наличии очень острого зрения, необходимы два условия: первое — чтобы предмет был освещен или же сам светился. Действительно, накалившую до высокой температуры (примерно 2800°C) вольфрамовую спираль электролампы мы видим в темноте на очень большом расстоянии (несколько километров), но обычные книжные строки в густые сумерки или в ночные часы при отсутствии дополнительного освещения разглядеть едва ли возможно.

Все не испускающие свет тела мы видим вследствие того, что они отражают лучи, исходящие из какого-либо источника света (солнца, луны, электролампы, рассеянного света от атмосферы и облаков). Если предметы почти не отражают света, а только поглощают или пропускают его, то мы обнаруживаем их лишь на фоне других предметов, которые отражают или рассеивают свет в заметной мере.

Ясно, что рассматриваемые предметы и фон частично отражают и частично поглощают падающий на них свет. Разные детали предмета и фона поглощают и отражают свет неодинаково, а в зависимости от материала, из которого они состоят, их окраски, состояния поверхности, а также углов наклона к потоку света.

Во многих случаях на предмет и на фон падает свет почти одинаковый по яркости и по цветовому тону. Свет, отраженный фоном, отличается от света, отраженного предметом, как по интенсивности (результат неодинакового отражения и поглощения), так и по цветовому тону. Это обстоятельство приводит к появлению так называемого оптического контраста между фоном и предметом.

Таким образом, наличие оптического контраста является вторым условием видения. В большинстве случаев такой контраст всегда имеется, так как наш глаз очень чувствителен и обнаруживает самые небольшие изменения в яркости предметов, особенно при малых уровнях освещенности. Чем больше контраст между предметом и фоном по яркости и цветности, тем лучше мы видим данный предмет. Однако яркость предмета и фона не должна превышать определенной величины, так как при избытке света мы будем ослеплены и ничего не увидим.

Явление оптического контраста часто используют в театре и при киносъемке, когда по ходу действия необходимо внезапное появление или исчезновение действующих лиц или предметов. Цветовой контраст в одежде актеров и декораций обязательно имеет место при постановке любых цветных фильмов. Примером достаточно хорошего оптического контраста служат строки этой книги: густая черная типографская краска отражает совсем немного света, а белая бумага — в десятки раз больше. Наличие такого контраста и дает возможность хорошо видеть напечатанное.

Свойства световых лучей

Если в весеннюю или летнюю пору взглянуть на небо, покрытое темными облаками, в особенности после дождя, когда воздух чист и прозрачен, то можно видеть, как свет проходит в разрыв облаков в виде яркого потока прямых солнечных лучей.

Во время салютов мы видим яркие лучи света, прорезающие небо, исходящие из мощных прожекторных установок.

Из этих наблюдений, а также из того факта, что при малом по размерам, но достаточно ярком источнике света непрозрачные предметы, находящиеся подле источника, отбрасывают резкие тени, можно определить основное свойство света — прямолинейное распространение в однородной среде.

С достаточной степенью приближения относительно небольшой по толщине слой воздуха или воды можно считать оптически однородным. Следует обратить внимание именно на оптическую однородность среды, так как в результате перехода света из одной однородной среды в другую он не будет распространяться прямолинейно. Очерта-

ния тени от предмета на каком-либо экране подобны очертаниям геометрической проекции посредством прямых линий, исходящих от источника света.

Следовательно, свет от источника распространяется в виде лучей, т. е. в виде полупрямых линий, начинающихся у источника и уходящих в бесконечность и несущих лучистую энергию. Понятия прямой и полупрямой в элементарной геометрии тесно связаны с понятием светового луча — направлением распространения потока света, или, как иногда говорят, потока лучистой энергии.

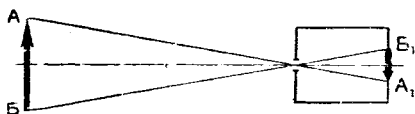


Рис. 1. Доказательство прямолинейного распространения света получением изображений удаленных предметов в камере-обскуре

Другой важный факт, указывающий на прямолинейное распространение света, — это получение изображений предметов посредством малого отверстия. Такое изображение можно получить применением так называемой камеры-обскуры (рис. 1), известной очень давно и описанной еще в XVI веке. Камера представляет собой ящик, в одной из стенок которого сделано небольшое отверстие.

Луч света, исходящий из светящейся точки A , дает очень малое светлое пятно на задней стенке ящика в точке A_1 . Луч света, исходящий из точки B , дает такое же пятно, но в точке B_1 . Совокупность таких светлых точек, образуемых лучами, исходящими из различных мест данного предмета AB , воспроизводит его обратное изображение A_1B_1 . Как мы увидим из дальнейшего, камера-обскура является простейшей моделью человеческого глаза и современного фотографического аппарата с той разницей, что у последнего в малое отверстие в передней стенке вставлен стеклянный объектив — система, состоящая из нескольких собирающих и рассеивающих линз (рис. 2), а роль объектива в человеческом глазе выполняет хрусталик.

Вплоть до XVIII века развитие оптики как учения о свете базировалось на представлении о прямолинейности

распространения световых лучей в однородных средах. Однако еще в XVII веке были известны факты, которые указывали на то, что имеются отступления от прямолинейного распространения света.

Например, было замечено, что изображения в камере-обскуре будут размыты по краям, нечетки, если отверстие, через которое проходит свет, сделать слишком малым. Это явление нельзя было объяснить на основании прямолинейного распространения лучей света.

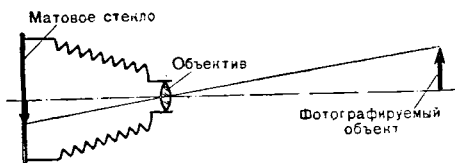


Рис. 2. Схема устройства фотоаппарата

Было также замечено, что при прохождении света через очень узкие отверстия в непрозрачном экране (щели) за экраном наблюдается возникновение чередующихся светлых и темных изображений щели. При этом светлые полосы попадали в область геометрической тени, а темные полосы — в места, где должен был быть только свет. Эти явления также нельзя было объяснить на основании прямолинейного распространения световых лучей.

Чередование темных и светлых полос можно также наблюдать на границе тени, полученной с помощью точечного источника света, установленного за непрозрачным экраном. Полосы на границе тени становятся более широкими, если точечный источник света и экран, на котором мы видим тень, значительно удалены от самого предмета. Под значительным удалением здесь следует понимать то, что расстояние от предмета до источника света и экрана, на котором видна тень, значительно больше размеров предмета. Эти факты говорят о том, что закон прямолинейного распространения света — закон приближенный.

Понятие о прямолинейном луче света — понятие относительное.

Однако в большинстве случаев в фотографической и кинематографической практике с достаточной степенью точности можно считать, что свет в однородной среде распространяется прямолинейно.

В современной фотокинотехнике используются три основных закона оптики: прямолинейное распространение, отражение и преломление света на границе двух сред.

На основе представления о свете как о потоке лучей были выяснены первые законы простейших оптических явлений, без которых в большинстве случаев невозможно получение изображений в современной технике. Эти законы относятся к изменению направления световых лучей при отражении и при переходе лучей света из одной среды в другую, например в очень распространенном в технике случае из воздуха в стекло и обратно (призмы, линзы, очки, бинокли и т. д.).

Лучи света несут энергию, действие которой мы непосредственно наблюдаем, например, когда зажигаем.

Когда луч света падает на границу двух прозрачных сред (например, воздух — вода, воздух — стекло), то энергия, которую несет луч, разделяется на две части: часть энергии остается в той же среде, но изменяется направление ее распространения — мы наблюдаем явление отражения; другая часть переходит в другую среду, причем здесь также меняется направление ее распространения — мы наблюдаем явление преломления. Хорошо отражают свет гладкополированные зеркала, состоящие в зависимости от назначения, из плоскопараллельных, выпуклых или же вогнутых пластин, нижняя поверхность которых покрывается обычно тонким слоем алюминия.

Стеклопластиковая пластинка без блестящего металлического слоя отражает примерно в 12 раз меньше света, чем обыкновенное зеркало. Лучше всех веществ отражает свет серебряное полированное зеркало: до 96% всей падающей на него световой энергии. Остальные 4% им поглощаются. Черная полированная поверхность отражает меньше 2% падающего на нее света.

Отражение света определяется законом физики: при падении луча света на отражающую поверхность луч света отражается под таким же углом к перпендикуляру к этой поверхности, под которым он падает на эту поверхность (рис. 3). Падающий и отраженный лучи, а также перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Этот закон открыт более 2000 лет назад, но и по сей день его используют при расчете и изготовлении оптических приборов, в которых применяется отражение света (зеркальный стереоскоп, зеркальный телескоп, мощные прожекторы).

Для того чтобы убедиться в наличии явления преломления света, проследим за прохождением лучей через призму или линзу, которую можно рассматривать как совокупность множества призм (рис. 4). Как видим, лучи

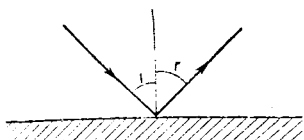


Рис. 3. При отражении света угол отражения луча равен углу падения его

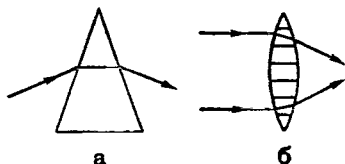


Рис. 4. Преломление луча монохроматического света в призме (а) и линзе (б), сделанных из стекла. Линзу можно рассматривать как совокупность множества призм

света при прохождении из одной среды в другую преломляются.

Закон преломления света гласит, что при переходе луча света из определенной среды в другую величина, характеризующая степень преломления — показатель преломления, является величиной постоянной для данных двух

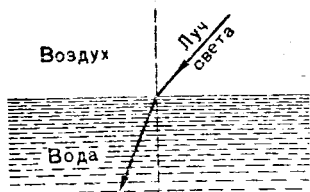


Рис. 5. Преломление луча света при переходе из одной среды в другую

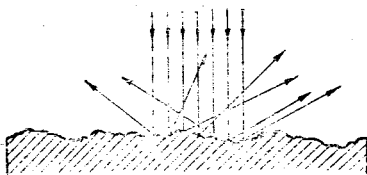


Рис. 6. Отражение лучей света от шероховатой поверхности

сред. Преломленный луч света находится в одной плоскости с лучом падающим и перпендикуляром, восстановленным к границе двух сред в точке падения луча (рис. 5). Знание этого закона позволило рассчитать и построить все современные оптические приборы, использующие призмы и линзы (кинофотообъективы, стереотрубы и др.). Прохождение световых лучей в глазе также объясняется этим законом.

Законы отражения и преломления света являются основными законами лучевой или геометрической оптики.

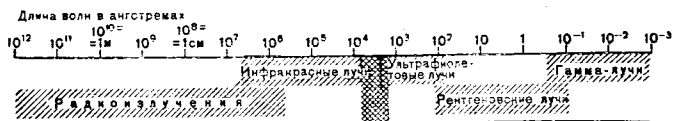
На основе их применения можно объяснить получение воспринимаемых глазом изображений окружающего нас мира.

Выше было рассказано о так называемом зеркальном отражении, т. е. об отражении от совершенно гладких поверхностей. Если же поверхность не гладкая, а шероховатая, то при падении на нее луча света отражение будет происходить не в одну, а во все стороны. Это явление называется диффузным отражением (рис. 6). Поверхность, которая рассеивает падающий на нее свет во все стороны совершенно равномерно, называется абсолютно рассеивающей. Однако абсолютно рассеивающих поверхностей, так же как и абсолютно зеркальных, в природе не существует. К абсолютно рассеивающим поверхностям приближаются поверхности снега, чертежной бумаги, кинопроекционных экранов, изготовленных из отбеленной хлопчатобумажной или льняной материи. Именно тем, что экран в кинотеатре рассеивает падающий на него свет равномерно во все стороны, объясняется тот факт, что зрители могут видеть фильм с любого места в зале, в то время как при зеркальном отражении световой луч был бы виден всего лишь немногим.

Итак, мы видим потому, что свет воздействует на наш зрительный аппарат. Но что собою представляет свет и почему мы видим только тогда, когда световые лучи попадают в глаза?

Излучение окружающих тел, воспринимаемое глазом и в обыденной жизни называемое светом, представляет собой распространяющиеся электромагнитные волны различной длины. В общем случае электромагнитные волны отличаются по своей длине в большое число раз: имеются электромагнитные волны очень короткие (в десятиллиардные доли метра и еще меньшие) и относительно длинные (в сотни и тысячи метров). Электромагнитные волны излучаются атомами, из которых состоят все вещества и тела в природе. Длины световых волн, наблюдающиеся в природе и используемые в технике, нанесены на шкалу электромагнитных излучений, называемую спектром излучений (рис. 7). На этой шкале в логарифмическом масштабе отложены длины волн в ангстремах (один ангстрем равен одной десятиллиардной доле метра: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$). Глаза человека воспринимают электромагнитные излучения тел, длины волн которых находятся в интервале $3800\text{--}7800 \text{ \AA}$. На шкале электромагнитных излучений

они расположены примерно посередине и составляют очень небольшую часть этого спектра. На этой шкале слева и справа от видимой части спектра находятся невидимые излучения, но обнаруживаемые по их действию на



2.7

Рис. 7. Шкала электромагнитных излучений. Заштрихованная область соответствует части спектра, видимой человеческим глазом

светочувствительные пленки или же специальными приборами. Слева лежат длинные волны — инфракрасные лучи и радионизлучения, а направо — короткие волны: ультрафиолетовые лучи, рентгеновские и гамма-лучи.

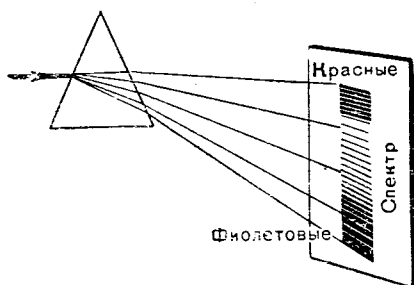


Рис. 8. Разложение стеклянной призмой луча обыкновенного света на ряд цветных лучей

Обыкновенный белый свет, который мы видим, на самом деле состоит из смеси цветных лучей. На цветные лучи его можно разложить пропусканием через трехгранную стеклянную призму (рис. 8). Она сообщает каждой из световых волн с различной длиной свое направление. В результате по другую сторону призмы получается цветной

радужный спектр. Световые лучи, отличные по длине волны, воспринимаются нашим зрительным аппаратом как различно окрашенные: лучи с наиболее длинными волнами представляются красными, а с наиболее короткими — фиолетовыми. Например, вот как зависит воспринимаемый нами цвет от длины световой волны (длины волн приведены в ангстремах: $10\text{\AA} = 1\text{ нм}$ — нанометру):

фиолетовые лучи	3800—4300
синие лучи	4300—4800
голубые лучи	4800—5100
зеленые лучи	5100—5500

желто-зеленые лучи	5500—5750
желтые лучи	5750—5850
оранжевые лучи	5850—6200
красные лучи	6200—7800

Световое раздражение, воспринятое глазами, трансформируется затем в нашем мозгу в цветное ощущение.

Наш глаз является органом чувств, очень тонко реагирующим на действие световых лучей, и служит основным приемником информации об окружающем мире. В глазу происходит то взаимодействие лучистой энергии с окончаниями зрительного нерва, в результате которого в мозгу создается образ видимого объекта.

Зрительный аппарат человека

Благодаря глазам нам доступно все богатство форм и красок природы. Глаза дают нам представление о близких и удаленных предметах, об их расположении на плоскости и в пространстве. «На глаз» мы даже более или менее точно определяем расстояние до предмета.

Глаза позволяют нам видеть предметы такими, какими они есть в действительности, т. е. в трех измерениях — в длину, ширину и глубину. Лишившись зрения, человек не может воспринимать ни форм, ни красок, ни пространства (объема). Человек и с одним глазом теряет подлинную объемность видения.

Глаз человека весьма совершенный и очень чувствительный орган. Вместе с тем и его возможности ограничены. Например, очень мелкие предметы или детали глаз не различает как вследствие недостаточной разрешающей способности, так и недостаточной чувствительности при малых освещенностях. Измеряется разрешающая способность в угловой мере. Для человеческого глаза она равна одной угловой минуте.

Порогом чувствительности называется световое раздражение, вызываемое светящейся точкой, позволяющей едва-едва обнаружить ее на совершенно черном фоне при условии очень долгого приспособления глаза к полной темноте (адаптация). При этом лучистая энергия, поступающая в зрачок, настолько незначительна, что если бы ее непрерывно накапливать, то малую калорию, т. е. количество тепла, необходимое на повышение температуры 1 мл воды на 1° С, мы получили бы за промежуток времени в 60 миллионов лет.

Другим ограничением работы глаза является порог ослепления, т. е. такое сильное световое раздражение глаза, превышение которого вызывает чувство ослепления.

При таком максимальном, еще выдерживаемом раздражении поступающая в зрачок лучистая энергия при непрерывном накоплении ее дает возможность получить одну малую калорию уже в течение 30 мин. Таким образом, наш глаз может при определенных условиях регистрировать потоки световых лучей, отличающиеся по своей интенсивности в 500 миллиардов раз! Конечно, ни один самый чувствительный технический прибор, например фотоэлектронный умножитель, не обладает такой особенностью. Однако возможности глаза можно еще более увеличить.

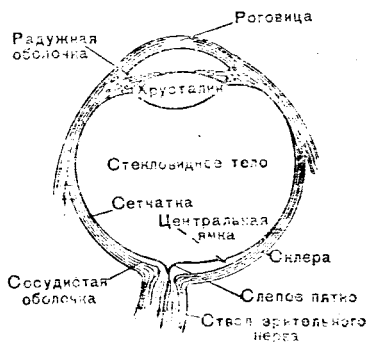


Рис. 9. Строение глаза человека

Для значительного расширения зрительных возможностей изобретено большое количество оптических приборов: бинокли, зрительные трубы, дальномеры, телескопы, которые дают возможность видеть объекты, удаленные от нас, начиная от расстояний в десятки метров до астрономических, чрезвычайно больших расстояний, который луч света проходит в десятки и сотни световых лет (световой год — расстояние, проходимое световым лучом за один год при скорости распространения света в 300 000 км/сек).

В последнем случае необходимо, конечно, чтобы объект наблюдения, например звезда, был достаточно ярким. Когда свет, испускаемый предметом или отраженный от него, попадает в глаз, он вызывает световое раздражение или ощущение, передаваемое зрительным нервом мозгу, в котором создается образ этого предмета.

Как известно, глаза человека имеют приблизительно шарообразную форму и расположены в углублении черепа — глазницах.

Стенки глазного яблока имеют три оболочки (рис. 9.)

Внутри оболочек имеется жидкая стеклообразная масса, показатель преломления которой приблизительно совпадает с показателем преломления воды и равен 1,33.

Первая, внешняя оболочка называется белковой (склерой). Белковая оболочка непрозрачна, за исключением прозрачной передней части, которая выдается вперед, имея большую кривизну.

Эта часть белковой оболочки носит название роговицы, или роговой оболочки.

Изнутри к склере прилегает вторая оболочка, содержащая сеть мелких кровеносных сосудов. В передней части глаза, около роговицы, эта оболочка переходит в радужную, окрашенную у разных людей в различный цвет. В середине ее имеется отверстие — зрачок. Диаметр зрачка может меняться в зависимости от количества света, попадающего в глаз. В обычных условиях диаметр зрачка равен 3—4 мм, а при слабых освещенностях — приблизительно 8 мм. Роль зрачка подобна роли диафрагмы в фотографическом объективе. Непосредственно за зрачком расположено прозрачное, упругое тело, имеющее форму двояковыпуклой линзы с поверхностями неодинаковой кривизны, называемое хрусталиком. Хрусталик находится в прозрачной сумке, охватываемой со всех сторон так называемой цилиарной мышцей.

Под действием этой мышцы изменяется степень кривизны поверхности хрусталика, определяя его способность приспособляться к отчетливому видению предметов на различном расстоянии. Это явление называется аккомодацией. Аккомодация дает возможность получения резких изображений наблюдаемых предметов на сетчатой оболочке глазного дна. Попадающий в глаз свет от окружающих нас предметов воспринимается сетчатой оболочкой, нервные проводники от которой и передают импульсы в мозг. Сетчатка в глазу играет почти такую же роль, как и фотоэлектрически активный слой (фотокатод) в современном фотоэлементе или в фотоэлектронном умножителе.

Сетчатка состоит в основном из очень большого числа окончаний нервных волокон, являющихся разветвлением зрительного нерва, и имеет сложное строение. Окончания нервных волокон, имеющие вид стебелька (рис. 10), носят название палочек, другие, более короткие и более толстые, в виде луковички, называются колбочками. Размеры палочек и колбочек настолько малы, что видны только в микроскоп. Общее количество палочек и колбочек очень велико — примерно 110 миллионов, из них около 103 миллиона палочек и 7 миллионов колбочек. Колбочки распределены по сетчатой оболочке неравномерно: в так назы-

ваемом желтом пятне их значительно больше, чем в других местах. Место, где в глаз входит зрительный нерв, не воспринимает света, его называют слепым пятном.

Роль палочек и колбочек в процессе зрительного восприятия различна. В палочках имеется особое вещество, разлагающееся под действием света. Это вещество носит название зрительного пурпура, или родопсина. Аналогичное по своему назначению вещество — подопсин — имеется в колбочках.

Палочки, обладая большей чувствительностью, действуют при слабом освещении, осуществляя так называемый

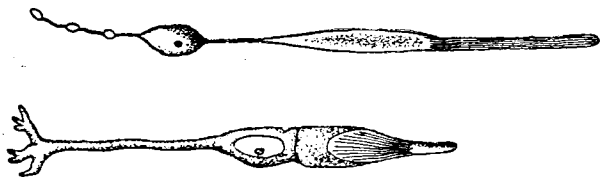


Рис. 10. Вид окончаний нервных волокон в сетчатке глаза (палочка и колбочка)

сумеречный зрительный процесс, при котором цвета предметов не воспринимаются. Колбочки действуют при относительно сильном освещении, когда зрительный пурпур в палочках почти полностью распался. Они образуют аппарат дневного зрения, позволяющий видеть цвета и форму предметов.

Свет, попадающий в глаз, собирается посредством хрусталика на сетчатке и, попадая на основания палочек, разлагает зрительный пурпур. Разложение зрительного пурпура под действием света представляет собой фотохимическую реакцию, в результате которой в нервных волокнах появляется некоторая электрическая разность потенциалов, которую можно регистрировать электроизмерительным прибором. В форме отдельных электрических импульсов световое раздражение передается от глаза в мозговые центры, где и происходит сложный процесс преобразования электрических импульсов в зрительные ощущения.

В темноте зрительный пурпур в палочках медленно восстанавливается.

Если длительное время смотреть на ярко освещенные предметы, т. е. при длительном воздействии света на светочувствительные клетки сетчатки — палочки и колбочки,

все красящее вещество в них полностью выцвело бы, и зрительный процесс мог бы прекратиться. Однако этого не происходит, потому что по мере выцветания некоторого количества молекул родопсина в палочках одновременно восстанавливается почти такое же количество его. Следовательно, количество родопсина в светочувствительных клетках остается примерно постоянным, и зрительный процесс осуществляется на протяжении длительного времени.

При переходе от очень больших освещенностей к малым, например если в яркий солнечный день войти с улицы в плохо освещенное помещение, то сначала в нем трудно будет что-нибудь увидеть. Для того чтобы глаз привык и мог хорошо различать предметы в неосвещенном помещении, требуется около 30 мин (явление адаптации глаза).

У человека и ограниченного числа представителей животного мира (обезьяны, многие хищники, ночные птицы) глаза расположены таким образом, что линии зрения или зрительные оси их параллельны между собой. Параллельное расположение осей позволяет один и тот же объект рассматривать одновременно двумя глазами. Такое зрительное восприятие было названо бинокулярным зрением, т. е. зрением двумя глазами, в отличие от зрения одним глазом — монокулярного.

Восприятие пространства

Согласованное действие обоих глаз создало возможность ощущать глубину видимого пространства. Одним глазом глубина видимого пространства воспринимается значительно хуже и даже несколько по-иному, чем двумя глазами.

Глаза дают нам возможность судить о внешнем виде предметов, их отдаленности, пространственном соотношении.

Для удаленных объектов глаза являются единственным средством для определения как пространственных соотношений предметов, так и их цветов.

Видеть пространственно ориентированные предметы — означает различать в большей или меньшей степени их форму, размеры, направление, в котором они от нас находятся, и расстояние до них. Казалось бы, что когда, прикрыв один глаз, мы смотрим на окружающий нас мир, то относительно просто решить эту задачу.

Однако дело обстоит не совсем так. Суть в том, что в нашем глазу изображение рассматриваемых предметов получаются на сетчатке подобно тому, как в фотографическом аппарате получается изображение на фотографической пленке. Изображение это плоское и перевернутое (рис. 11).

Соответствующие опыты с отпрепарированными глазами животных показали, что если осторожно удалить с задней стороны глазного яблока все части глаза, кроме сет-

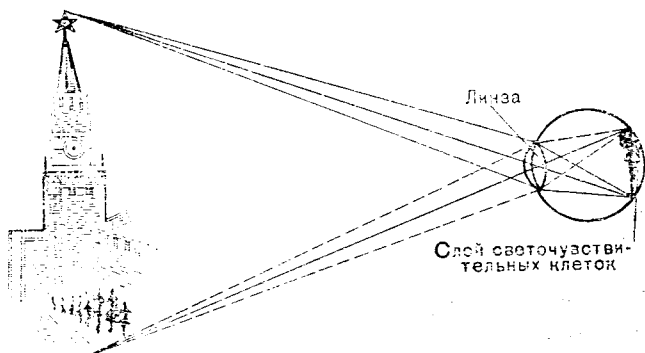


Рис. 11. Изображение видимого предмета в глазе

чатки, то на ней можно увидеть непосредственно изображение.

При этом убедились, что зрительный пурпур (родопсин) выцветает в тех местах, на которые падал свет. В тех местах, куда свет не попадал, выцветания не было. В других опытах на сетчатку неподвижного глаза животного, долго находившегося в темноте, направляли изображение какого-либо предмета, например светлого окна с темным оконным переплетом, при этом было обнаружено, что на сетчатке после препарации изображение окна оставалось светлым на пурпурном фоне. Примерно такое же изображение было получено тогда, когда в глазу животного заменили сетчатку соответствующим кусочком кинопленки. Во всех случаях, конечно, изображение как на сетчатке, так и на кинопленке было плоским. Возникает вопрос: каким образом мы воспринимаем пространственное расположение предметов, ведь в глазу на сетчатке получается плоское изображение?

Следует учитывать, что наш глаз не имеет никакого абсолютного определителя размеров и пространственного положения предметов.

Суждение о пространственном соотношении предметов выносится нами на основании нашего жизненного опыта.

О пространственном соотношении предметов мы судим по таким признакам, как видимая величина предмета, линейная перспектива, загромождение одного предмета другим, наложение света и тени, из знания размеров отдельных предметов.

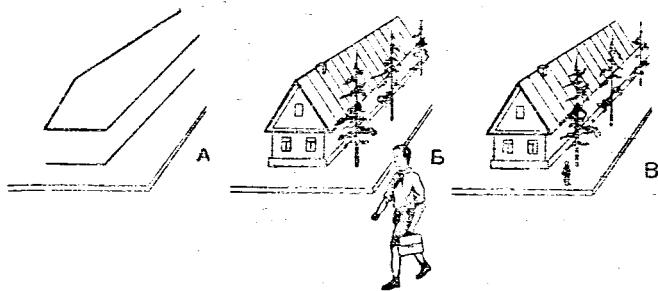


Рис. 12. Условное изображение пространственного положения предметов

В этом можно убедиться, последовательно рассматривая отдельные виды рис. 12. Вид А представляет собой несколько сходящихся линий. Об объемности мы пока еще судить не можем. На виде В того же рисунка, дополненного деталями, мы видим взаимное расположение дома, деревьев, линию тротуаров в перспективе и уже судим об объемности. На виде В на переднем плане показан человек и это дает нам возможность судить об удаленности его и дома от нас. В этом случае мы можем сказать, что человек находится ближе к нам, так как его размеры значительно больше размеров дома. Перенеся изображение человека на тротуар и соответственно уменьшив масштаб (вид В), мы как бы изменим расстояние от нас до человека, в то время как расстояние от нас до рисунка в действительности почти не изменилось.

Таким образом, мы на плоском чертеже, пользуясь данными повседневного опыта, судим о пространственном расположении предметов. Ясно, что точность наших опре-

делений в какой-то мере зависит от наблюдательности, остроты и тренированности зрения.

При достаточной натренированности можно определить взаимное расположение предметов и одним глазом, но в большинстве случаев это определение производится значительно менее точно, чем двумя глазами.

Бинокулярное зрение. Зрение двумя глазами позволяет полнее представить объемность и пространственное расположение объектов. При этом увеличивается также и поле зрения, так как пространство, видимое обоими глазами, охватывает угол около 180° (одним глазом — 110°). Улучшение условий восприятия пространства, рельефности предметов позволяет ощущать окружающий мир в трех измерениях. Ощущения глубины, рельефности являются функцией бинокулярного зрения, т. е. зрения одновременно обоими глазами.

Каким же образом у нас возникает ощущение объемности, глубины рассматриваемого пространства?

Рассмотрим это на следующем примере. Посмотрите на какую-либо звезду двумя глазами. Лучи света, исходящие из нее и входящие в глаза, из-за очень большой отдаленности звезды будут параллельными. Иначе говоря, будут параллельны зрительные оси или зрительные линии — линии, идущие от центральной ямки сетчатки через центр зрачка перпендикулярно поверхности хрусталика. Затем, закрыв один глаз, например левый, и не меняя положения головы, еще раз посмотрите на звезду, — вы заметите, что положение ее не изменится. Закрыв затем правый глаз и открыв левый, можно убедиться, что никакого изменения в видимом положении звезды и направлении зрительных осей не произойдет.

Это означает, что при параллельном направлении зрительных осей удаленные предметы, изображения которых получаются на сетчатке, мы видим в одних и тех же местах пространства, независимо от того, попадают ли лучи от предмета на сетчатку левого или правого глаза, или же на обе сразу.

Из этого следует, что некоторым местам одной сетчатки соответствуют определенные места другой сетчатки в том смысле, что объекты, лучи от которых вызывают раздражающее действие, видятся нами в одних и тех же точках пространства. Такие места сетчаток называются соответствующими, или корреспондирующими, точками.

Другими словами: соответствующие точки сетчатки глаза характеризуются тем, что их световое возбуждение дает ощущение одного объекта в поле зрения. Из опыта известно, что все, на что мы направляем центральную ямку, расположенную примерно в середине желтого пятна сетчатки, видится нами в одиночном виде.

Поэтому центральные ямки сетчаток и являются соответствующими точками.

Как показали исследования, соответствующими точками сетчаток также являются те места их, которые лежат в одном и том же направлении и на одном и том же расстоянии от центральной ямки сетчатки.

При поворачивании глаз в орбитах в каждом их положении корреспондирующим точкам сетчаток соответствуют строго определенные точки внешнего пространства. Итак, раздражение лучами света соответствующих, или корреспондирующих, точек сетчаток вызывает, создает впечатление одиночного предмета.

Иное впечатление создается в тех случаях, когда изображение предмета попадает в обоих глазах на различно удаленные от центральной ямки точки сетчатки. Такие точки носят название несоответствующих, или диспаратных, точек. При этом условии у нас возникают двойственные изображения: одно изображение — для левого глаза и другое, немного отличное от первого, — для правого глаза. Двойственность изображений получается тогда, когда предметы находятся на конечном расстоянии от глаз и зрительные оси при пересечении на какой-либо точке предмета образуют некоторый угол (угол конвергенции). Ясно, что если угол конвергенции равен нулю (параллельность зрительных осей), то двойственность исчезает.

В существовании двойственности легко убедиться непосредственным путем. Как только мы пристально всмотримся в какое-либо слово в данной строчке, несколько ослабив мышцы глаз, то через небольшой промежуток времени мы увидим раздвоение изображения этого слова.

Но всегда ли при раздражении несоответствующих точек получается двоение?

Если в обоих глазах раздражение, вызываемое лучами света, идущими от предмета, получается лишь на левых или только на правых половинках сетчаток (считая от центральной ямки), то вместо двоения у нас возникает уже новое восприятие, новое ощущение — ощущение большей или меньшей удаленности объекта по сравнению с тем

объектом, изображение которого падает на соответствующие точки сетчаток. Таким образом, наличие несоответствующих точек при рассматривании пространственных объектов — необходимое условие ощущения глубины пространства. Попробуем это проиллюстрировать на рис. 13.

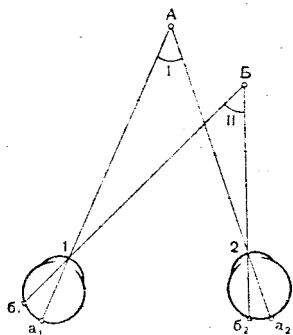


Рис. 13. Схема, объясняющая сущность объемного видения: 1, 2 — левый и правый глаз; a_1 и a_2 — изображение точки A в левом и правом глазе, когда оба глаза фиксируют точку A ; b_1 и b_2 (диспаратные точки) — изображение точки B в левом и правом глазе, когда фиксируют точку B

Если левый и правый глаз (на рис. 13 соответственно 1 и 2) фиксируют некоторую точку A , то изображение несколько удаленной от нее точки B попадает в левом глазу в точке b_1 , в правом глазу — в точке b_2 . Точки b_1 и b_2 — диспаратные, так как обе лежат в левых половинках обеих сетчаток.

Вследствие этого мы видим точку B лежащей не в плоскости объекта A , параллельной плоскости, проведенной через зрачки, но несколько ближе, чем точка A .

Видим ли мы точку B (или соответственно какой-либо предмет) ближе или дальше предмета, к которому относится точка A , зависит от разности тех углов I и II , которые образуют лучи, исходящие из точек A и B и попадающие в оба глаза.

При более внимательном рассматривании рисунка мы увидим, что изображения окружающих нас предметов в одном глазу слегка отличаются от изображений этих же предметов в другом. Именно это незначительное несоответствие изображений на сетчатках обоих глаз дает нам возможность судить об относительной удаленности предметов или частей их, т. е. позволяет наблюдать окружающий нас мир объемным, рельефным, глубинным.

Надо отметить, что процесс слияния двух плоских, слегка отличающихся друг от друга изображений в одно объемное, глубинное — есть результат сложного процесса, обусловленного строением нервной системы и мозга.

В то же время можно сделать вывод, что, если оба глаза будут наблюдать изображения какого-либо объекта так, как их видит каждый глаз, т. е. чтобы изображение, пред-

назначенное для одного глаза, не попало в другой глаз, то при одновременном рассматривании обоих изображений (стереопары) в нашем сознании, как и при наблюдении объектов реального мира, создается объемное, пространственное, или, как принято называть в технике, стереоскопическое изображение объекта. Такое свойство наших органов зрительного восприятия (включая и мозговой аппарат) использует современная стереоскопия, стереофотография, дающая возможность воспроизводить на плоских рисунках или фотографиях окружающий нас мир уже не в двух, а в трех измерениях.

Мы хорошо ощущаем расположение в пространстве и объемность предметов, близко расположенных. Для того чтобы пространственно видеть объекты и далеко расположенные, следует увеличить угол конвергенции. Увеличение угла конвергенции происходит при искусственном увеличении базиса, т. е. расстояния между глазами зрителя. Искусственное увеличение базиса можно осуществить путем применения некоторых оптических приборов, например артиллерийской стереотрубы, призмного бинокля и др.

Раздельное наблюдение изображений стереопары в стереоскопе

Для того чтобы ощутить объемность изображения, необходимо, чтобы каждый глаз зрителя при наблюдении стереопары смог видеть только одно и только для него предназначенное изображение. Другими словами, для восприятия объемного изображения левый глаз должен видеть только левое изображение стереопары, а правый — правое. Такое раздельное наблюдение изображений называется *сепарацией*.

В 1589 г. Джакомо делла Порта, римский архитектор, ученик Микеланджело, показал, что в нашем сознании комбинируются отдельные изображения, полученные каждым глазом в отдельности, и даже описал отдельные изображения стереопар.

Вопросами усиления рельефности и объемности, вопросами физиологической оптики, движения зрачка и пр. занимался также величайший художник и ученый эпохи Возрождения Леонардо да Винчи. Он писал, что самым главным в живописи является то, что тела, ею изображен-

ные, кажутся рельефными, а фоны, их окружающие, со своим удалением кажутся уходящими в глубь стены, на которой вызвана к жизни такая картина.

Появление в середине XIX века стереоскопа привело к широкому практическому применению стереоскопической фотографии в различных областях науки и техники.

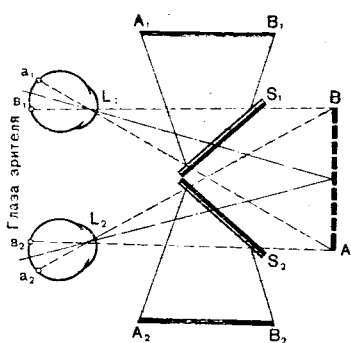


Рис. 14. Схема зеркального стереоскопа: L_1 и L_2 — глаза зрителя; S_1 и S_2 — зеркала; $A_1 B_1$ и $A_2 B_2$ — элементы стереопары; AB — мнимое изображение; $a_1 b_1$ и $a_2 b_2$ — изображения точек A и B в глазах наблюдателя

Стереоскоп (стерео — по-древнегречески — объем, скопос — указывать, видеть) представляет собой простой оптический прибор, позволяющий воспринимать объем при рассматривании плоских изображений стереопары.

Первая модель стереоскопа (рис. 14) представляет собой два зеркала, расположенных под углом друг к другу. Перед одним из зеркал устанавливают изображение предмета, наблюдаемого левым глазом; перед другим зеркалом — соответствующее изображение для правого глаза.

Первое изображение, отражаясь от зеркала, попадает в левый глаз наблюдателя, одновременно второе — в правый глаз.

В результате такого рассматривания двух изображений одного предмета перед глазами возникает одно изображение, но уже объемное.

Изобретение стереоскопа (1833) приписывается Уинтстону. Однако более простой прибор для рассматривания объемных изображений был разработан еще в 1829 г. Эллиотом (рис. 15). Правда, прибор Эллиота не имел оптических элементов, облегчающих конвергенцию осей глаз, и поэтому был менее совершенным.

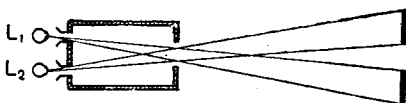


Рис. 15. Стереоскоп Эллиота: L_1 и L_2 — глаза наблюдателя

В дальнейшем конструкция стереоскопа была усовершенствована: зеркала были заменены в одних случаях линзами (рис. 16), в других — преломляющими призмами. Посредством линз или преломляющих призм 1, 2 в стереоскопе изменяется направление световых лучей от правого и левого изображения 5. В результате одновременного наблюдения двух плоских изображений возникает одно объемное, рельефное 3, 4.

Применение линз и призм упростило конструкцию стереоскопа, что привело к его широкому практическому применению. В таком виде стереоскоп дошел до наших дней (рис. 17).

Впечатление объемности при рассматривании двух изображений (для левого и правого глаза) можно полу-

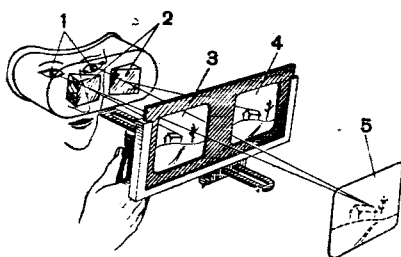


Рис. 16. Схема линзового стереоскопа

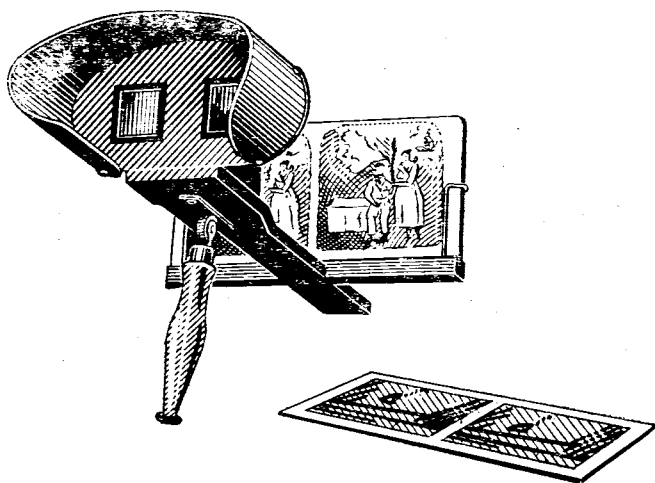


Рис. 17. Призматический стереоскоп

чить и без стереоскопа, т. е. непосредственно путем определенной тренировки зрения.

В чем же заключается такая тренировка?

Стереопару — два фото или рисунка одного масштаба — ставят на некотором расстоянии друг от друга. Затем, поставив перед глазами ребром ладонь (рис. 18) или какую-нибудь пластину, стремятся каждым глазом увидеть только одно изображение.

При внимательном рассматривании этих изображений

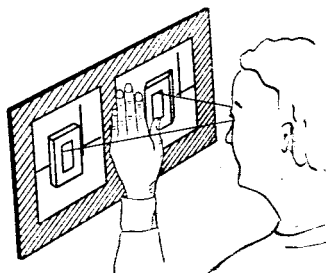


Рис. 18. Способ непосредственного совмещения двух изображений для левого и правого глаза

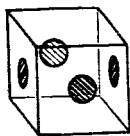
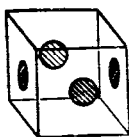


Рис. 19. Вид стеклянного кубика, каким он представляется отдельно левому и правому глазу

наблюдается постепенное их слияние. При полном слиянии изображений наблюдается стереоскопический эффект.

При некоторой тренировке необходимость в какой-либо перегородке для раздельного рассматривания изображений отпадает.

Можно тренировать зрение и более простым способом. Например, если нарисовать на листе бумаги на расстоянии 60—65 мм два черных кружка диаметром 8—10 мм и рассматривать их, отодвинув от себя на некоторое расстояние, то, наблюдая каждым глазом один кружок, можно заметить, что изображения их начнут как бы перемещаться навстречу друг другу, пока не соединятся в одно. Правда, справа и слева от кружка будет видно еще два, но средний будет являться слитным изображением правого и левого.

После некоторой тренировки можно таким же образом рассматривать более сложные рисунки-стереопары, например кубик (рис. 19).

Получение стереоскопического эффекта без стереоскопа может быть осуществлено и другими способами.

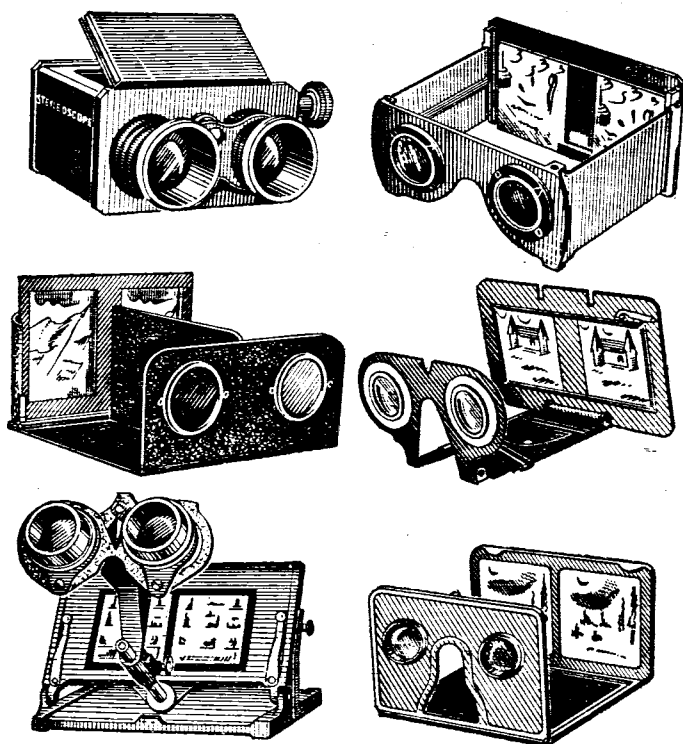


Рис. 20. Различные типы стереоскопов

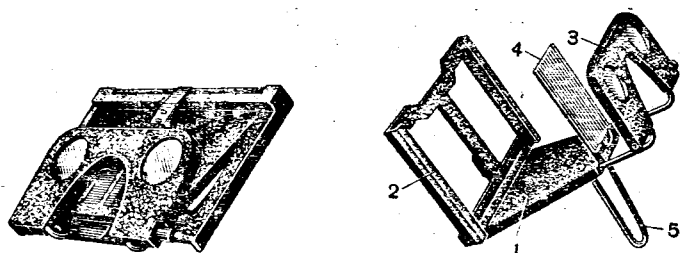


Рис. 21. Стереоскоп стереоскомплекта к фотоаппаратам типа «Зоркий». Слева — стереоскоп в сложенном виде

В связи с появлением рассчитанных малоформатных стереофотоаппаратов, рассчитанных на применение 35-мм кинопленки, было разработано несколько видов стереоскопов (рис. 20). Стереоскоп, выпускаемый в стереокомплекте к фотоаппаратам типа «Зоркий» (рис. 21), предназначен для рассматривания снимков, полученных на 35-мм пленке и увеличенных до размера 54×80 мм.

Этот стереоскоп представляет собой складную металлическую конструкцию, состоящую из столика 1, откидывающейся рамки 2, в которую вставляются стереоснимки, откидывающейся рамки 3 с окулярами и ширмы 4. Для удоб-

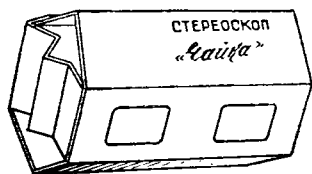


Рис. 22. Стереоскоп «Чайка»

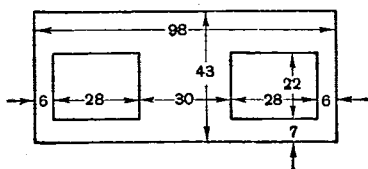


Рис. 23. Рамка к стереоскопу «Чайка»

ства рассматривания стереофотографий стереоскоп может быть установлен при помощи подставки 5 наклонно. Рамка 3 с окулярами перемещается в направляющих полозьях поступательно-возвратно для достижения необходимой четкости изображений и удерживается в установленном положении силой трения.

Широкий паз в рамке 2 предусмотрен для вкладывания нескольких фотографий, наклеенных на картон.

Опытно-экспериментальной фабрикой Всесоюзного общества «Знание» разработан и выпущен в продажу стереоскоп «Чайка» (рис. 22) — весьма оригинальной и в то же время простой конструкции. Этот стереоскоп используется для просмотра стереодиапозитивов размером 24×36 мм, снятых фотоаппаратами типа ФЭД, «Смена» и т. п. и помещенных в стандартную рамку (рис. 23). При монтаже стереопары используются две стандартные рамки. Диапозитивы для левого и правого глаза приклеивают по перфорации к нижней рамке клеем БФ, верхняя рамка наклеивается на нижнюю — и стереопара готова.

Фабрика выпускает также стереодиапозитивы в виде отдельных тематических серий, которые пользуются большим спросом у стереолюбителей.

Выпущены серии: «По памятным местам Великой Отечественной войны»; «Горки Ленинские»; «Музей-усадьба Толстого»; «Виды Москвы»; «Виды ВДНХ»; «Останкинский дворец-музей»; «Курорт Пярну»; «Закарпатье»; «Иркутск»; «Каунас»; «Феодосия»; «Ессентуки» и др.

В продаже имеется также стереоскоп «Ленинград» (рис. 24). Стереоскоп предназначен для рассматривания стереодиапозитивов, смонтированных на одной карте. Чис-

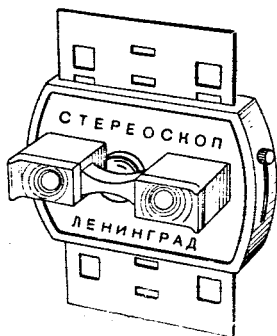


Рис. 24. Стереоскоп «Ленинград»

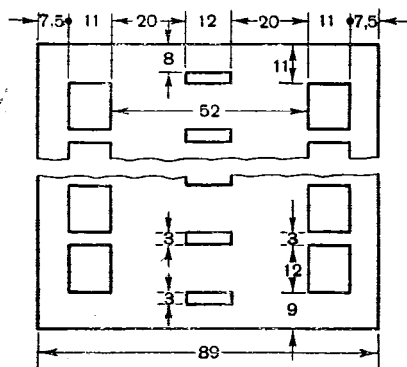


Рис. 25. Рамка к стереоскопу «Ленинград»

ло стереопар на одной карте не ограничивается. Однако удобнее, чтобы их было не больше 12.

Ширина карты — 89 мм, шаг — 15 мм, стереобазис — 63 мм. Для 12 стереопар длина карты равняется 200 мм.

Карты склеиваются из двух листов плотной бумаги. Диапозитивы, расположенные без перекосов и сдвигов, приклеиваются между половинками карты клеем, например 88-Н.

Некоторые авторы рекомендуют закреплять кадрики на первую половину карты по перфорации узкими полосками липкой ленты, а затем уже приклеивать фотоклеем вторую половину карты.

На рис. 25 показана карта для стереоскопа «Ленинград».

Для изготовления карт со стереопарами, снятыми аппаратом «Вега», размер окон должен быть изменен: вместо окна размером 12×11 мм надо взять размер 10×14 мм.

Применение маленького размера кадра не позволяет получить стереоэффект высокого качества.

Стереодиапроектор. Стереоскопические изображения (см. ниже), смонтированные в отдельные рамки, можно использовать для стереоскопической проекции при помощи специального стереодиапроектора.

В принципе стереодиапроектор мало отличается от обычного плоскостного проектора. В отличие от обычного он имеет два объектива и дополнительные детали для монтажа второго объектива.

В настоящее время имеется много стереодиапроекторов различных конструкций (рис. 26). Они отличаются друг от друга главным образом тем, что одни представляют собой сдвоенные обычные плоскостные диапроекторы, а другие — специально разработаны.

На рис. 27, а показан экспериментальный образец стереодиапроектора с кадром 24×30 мм, разработанный НИКФИ.

Для его изготовления были использованы два объектива «Индустар-22» с относительным отверстием $1:4,5$, два простых конденсора, два источника света и два отражающих зеркала. В качестве источников света были использованы лампы К-25, рассчитанные на напряжение 10,5 в и силу тока 5,8 а. Фокусировка обоих объективов осуществляется одновременно. Кроме того, для устранения разницы в фокусных расстояниях объективов предусмотрена возможность передвижения каждого объектива по резьбе на общей планке, к которой они крепятся. Проекционный базис может меняться в пределах от 62 до 65 мм. Вертикальный сдвиг изображений на пленке устраняется регулировкой направления фильмового канала. Для питания ламп в станине проектора смонтирован понижающий трансформатор.

В этом же проекторе могут быть использованы стереоскопические снимки, предназначенные для стереоскопа и смонтированные в рамки размером кадра не только 24×30 , но и 24×36 мм.

Подобный проектор может быть изготовлен и для других размеров стереокадра.

При помощи стереоскопа можно рассматривать изображения как в отраженном, так и в проходящем свете. В первом случае фотографии изготовляют на бумаге, во втором — в виде диапозитивов на пластинках или пленках.

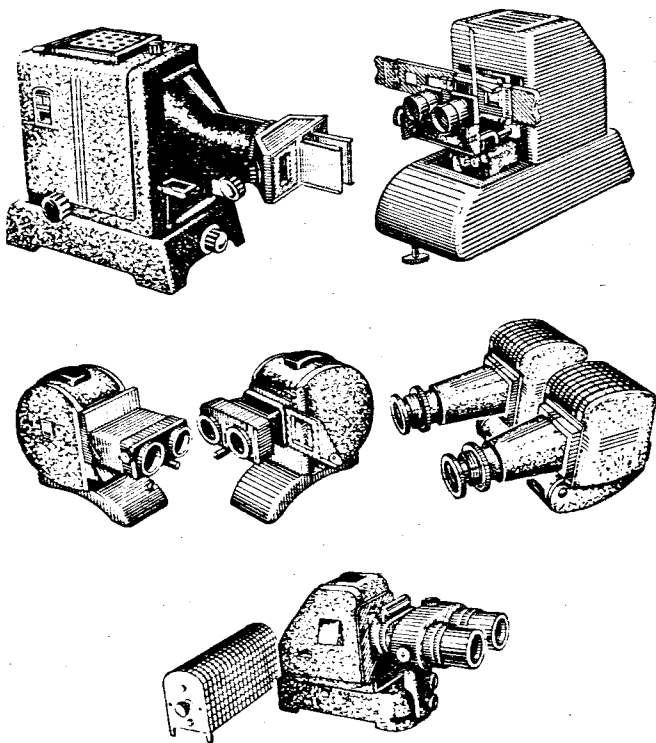


Рис. 26. Различные типы стереопроекторов

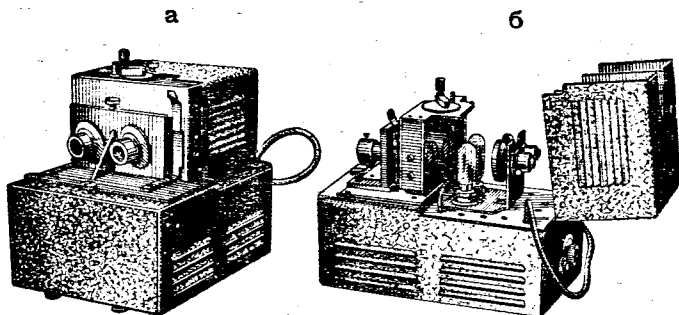


Рис. 27. Стереопроектор НИКФИ: а — общий вид; б — с откинутой крышкой

Применение стереоскопа для проекции. Сепарация стереоизображений, спроецированных на экран с помощью стереодиапроектора, может осуществляться различными способами.

Рассмотрим сначала способ, при котором сепарация спроецированных на экран изображений производится с помощью стереоскопа. Для этой цели на экран проецируются два стереоскопических изображения, снятых с точки зрения правого и левого глаза, либо рядом по горизонтали, как в обычном стереоскопе, либо одно изображение

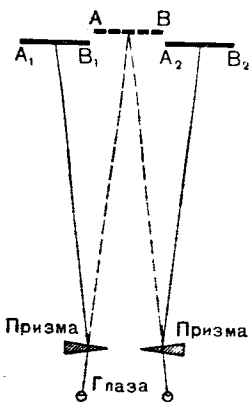


Рис. 28. Схема стереоскопической проекции с применением призмённого стереоскопа

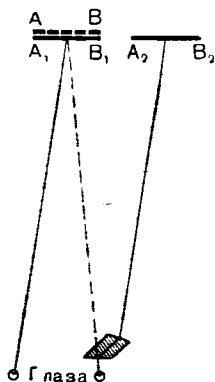


Рис. 29. Схема стереоскопической проекции с применением стереомонюкля

против другого, как в стереоскопе Уитстона, либо одно над другим (по вертикали), в соответствии с предложением Л. Люмьера. При этом зрительные приборы — стереоскопы — устанавливают перед каждым зрителем и индивидуально регулируют, в зависимости от положения места в зрительном зале, так как углы, под которыми рассматривается экран, с различных мест зрительного зала различны. При таком рассматривании изображений стереопары каждый зритель левым глазом видит левое изображение, правым — правое, получая ощущение стереоскопического эффекта.

Советским изобретателем А. Кауфманом разработаны различные конструкции стереочков, стереомонюклей для

наблюдения стереоизображений (рис. 28, 29). Буквы A_1 и B_1 на рисунках обозначают изображение для левого глаза и буквы A_2 и B_2 — для правого глаза; AB — мнимое стереоскопическое изображение.

Эти специальные дорогостоящие оптические приборы с регулируемыми линзами либо с призмами, регулировку которых зритель должен был научиться делать, давали по бокам (помимо основного стереоскопического изображения) еще два плоских «паразитных» изображения, кроме того, приборы перед каждым сеансом нужно было дезинфицировать. В силу этого применение стереоскопа для проекции не получило распространения.

Способы цветных анаглифов

Среди способов сепарации при воспроизведении объемных изображений, особенно при проекции, большое место занимает способ цветных анаглифов, предложенный Д'Альмейда еще в 1858 г. В этом способе оба изображения при проекции стереопары располагаются на экране не рядом, а накладываются одно на другое. Разделение стереоскопических изображений при их рассматривании осуществляется с помощью цвета. На экране совмещенные изображения стереопары рассматриваются зрителем через очки с цветными светофильтрами. При этом каждое изображение стереопары окрашивают в дополнительный цвет, например левое изображение — в красный цвет, а правое — в зеленый или синий.

Светофильтры тех же цветов располагают в очках таким образом, чтобы правый глаз, оснащенный, например, зеленым светофильтром, видел только правое изображение, окрашенное в зеленый цвет, а левый глаз через красный светофильтр — только левое изображение, окрашенное в красный цвет.

При воспроизведении объемных изображений на экране используется освещение, соответствующим образом отфильтрованное. Для этой цели на объективы стереоскопического проектора надевают цветные светофильтры или устанавливают их перед неокрашенными диапозитивами.

Такой способ проекции получил название аддитивного способа цветных анаглифов, так как этот способ при проекции изображений, окрашенных в два разных цвета, дает на экране суммирование обоих цветов.

Следовательно, в случае применения способа цветных анаглифов каждый глаз видит изображения, окрашенные в разные цвета. Для того чтобы при смешении создавалась нейтральная серая окраска видимого изображения, каждый глаз должен получить одинаковую цветовую нагрузку, поэтому нужно

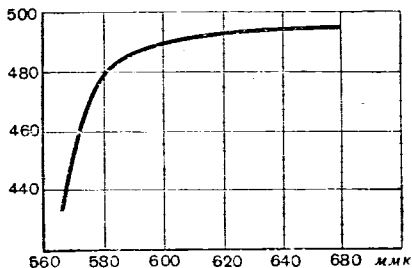


Рис. 30. Кривая дополнительных цветов

подбирать соответствующие цвета для левого и правого изображений. Как известно, в случае смешения окрашенных лучей для получения нейтрально-серой окраски необходимо применять дополнительные цвета.

На рис. 30 показана кривая дополнительных цветов. Эта кривая может быть выражена уравнением:

$$(\lambda - 559) \cdot (498 - \lambda_1) = 424,$$

где: λ — длина волны одного цвета, λ_1 — длина волны цвета, ему дополнительного, выраженного в 10^{-9} м, т. е. в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10\text{\AA}$).

Некоторые исследователи (например Л. Люмьер) считали, что для ощущения цветного нейтрального изображения оба глаза должны получать одинаковые нагрузки и притом в дополнительных цветах. Поэтому с учетом кривой спектральной чувствительности человеческого глаза световой поток делится между обоими глазами следующим образом: один из светофильтров пропускает лучи от 400 до 550 и от 640 до 700 нм, другой светофильтр (желтый) пропускает область от 550 до 640 нм. Дополнительная зона пропускания, придаваемая первому фильтру, необходима потому, что кривая видности в сторону красных лучей спадает более медленно, чем в сторону сине-фиолетовых.

В 1897 г. Петцольд видоизменил способ цветных анаглифов и предложил окрашивать изображение не светофильтрами, а химической окраской непосредственно самих изображений.

В этом случае суммарное изображение получается вычитанием светового пучка окрашенным слоем второго диапозитива после прохождения его через первый. Этот

способ, в отличие от аддитивного, носит название субтрактивного. По сравнению с аддитивным способом в субтрактивном при проекции изображений на экран получается выигрыш в освещенности на экране, так как белые места изображений свободны от окраски. Окрашенные изображения рассматриваются также через очки с разноокрашенными светофильтрами. Этот способ позволяет видеть объемное изображение не только при проекции на экран, но и при непосредственном рассматривании окрашенных изображений через такие же очки.

При субтрактивном методе на экран проецируются не черные изображения на своем окрашенном фоне, как это бывает при аддитивном методе, а контуры каждого изображения стереопары, окрашенные в соответствующий цвет. При этом разной степени почернения изображения при протравном тонировании соответствуют различные плотности окраски, светлые же фоны остаются неокрашенными и бесцветными.

Два стереоскопических изображения в этом случае можно печатать на двух слоях одной и той же позитивной пленки, используя метод окраски задубленной хромированной желатины.

В субтрактивном способе цветных анаглифов, разработанном НИКФИ для стереокинопроекции (А. Л. Левингтон и другие), изображения стереопар печатались на специальной позитивной пленке, очувствленной с двух сторон (дипофильм). Каждое черно-белое изображение окрашивалось методом тонирования.

Субтрактивный способ цветных анаглифов по сравнению с аддитивным способом более совершенен. Этот способ, за исключением очков, не требует при проекции дополнительных оптических приспособлений, и поэтому показ стереоизображений на экране может быть осуществлен обычным проектором с одним объективом.

Способ цветных анаглифов на непрозрачной подложке нашел большое применение в полиграфии для книжных объемных иллюстраций. Например, в томах «Большой медицинской энциклопедии» (второе издание) имеются анаглифические изображения, которые нужно рассматривать через приложенные к книге цветные очки. В книге «Основы кристаллографии» (авторы А. В. Шубников, Е. Е. Флинт, Г. Б. Бокий) приложены таблицы кристаллов, выполненные также этим способом. Подобные иллюстрации имеются и в других книгах (см. ниже).

Роль очков в анаглифических методах сводится прежде всего к отфильтровыванию лучей света, проходящих через одно изображение, и пропусканию лучей света через второе, предназначенное для рассматривания данным глазом. Это может быть достигнуто различными способами. При аддитивном методе цветных анаглифов каждый очковый светофильтр не пропускает цветового фона того изображения, которое окрашено противоположным фильтром в проекторе, вследствие чего серебряное изображение не просматривается на почерненном фоне. Аналогичное явление получается и со вторым основным фильтром по отношению к противоположно ему окрашенному изображению.

Таким образом, каждый глаз наблюдает свое изображение черным на соответствующем светлом цветном фоне. При хорошо подобранных светофильтрах комбинация двух окрашенных фонов обесцвечивается и воспринимается бесцветной, серой.

Иная роль очковых светофильтров при субтрактивном методе цветных анаглифов. В данном случае проецируется не черное изображение на окрашенном фоне (каждое на своем), а, как мы видели выше, контуры каждого проецируемого изображения окрашенные в соответствующий цвет.

Если при аддитивном методе рассматривается через красный фильтр красноокрашенное изображение и не видимо синее, а через синий наоборот, то при субтрактивном методе через красный фильтр рассматривается синее окрашенное изображение (черное на красном фоне) и не видимо красное вследствие слияния с фоном.

Поэтому с точки зрения «отнятия» одноименного изображения кривые светофильтров должны иметь вид круто падающих от поглощения к пропусканию, при этом зона пропускания каждого светофильтра должна быть несколько меньше, чем зона пропускания соответствующего цвета. Второе условие — контрастирование противоположного изображения — соблюдается при уменьшении общего пропускания: окрашивание в красный цвет требует синего светофильтра и, наоборот, окрашивание в синий цвет — красного светофильтра, что легко достигается раздвижением по спектру кривых очковых светофильтров так, чтобы у них не было общей зоны пропускания. Правда, при этом необходимо иметь в виду, что при значительном раздвигании уменьшается их общая прозрачность.

Недостатком способа цветных анаглифов является то, что его нельзя применять для цветной стереоскопической фотографии.

Однако если для получения объемного изображения цвет не является необходимым, этот метод с успехом может быть использован.

Стереоскопические диапозитивы по анаглифическому субтрактивному методу могут быть изготовлены и любителями стереофотографии.

Для получения объемного изображения по этому методу с двух сопряженно снятых негативов, т. е. снятых с определенным базисом, печатают диапозитивы на пластинках или пленках.

Каждый из полученных диапозитивов окрашивают в соответствующий цвет (один — в оранжево-красный, другой — в сине-зеленый). Окрашенные диапозитивы стереопары складывают друг с другом таким образом, чтобы при наложении совпали одноименные точки наиболее удаленных объектов. Правильно сложенную стереопару окрашенных диапозитивов окантовывают бумажными полосками.

Наблюдать стереоскопический эффект по данному методу можно и при непосредственном рассмотрении диапозитива в проходящем свете.

Так как сопряженные негативные изображения, полученные при съемке обычным стереофотоаппаратом (см. ниже), расположены на фотопленке не зеркально, а подобно, то при копировании их с помощью проекционного фонаря полученный негатив разрезают пополам и одну из половинок переворачивают. Таким образом, половина негатива будет отпечатана с эмульсионной стороны, а другая — со стороны подложки. Такое положение негатива при печати дает возможность в дальнейшем сложить полученные диапозитивы друг с другом эмульсионными сторонами.

Проявленные, отфиксированные и хорошо отмытые от тиосульфата натрия диапозитивы обрабатывают в протравляющем растворе следующего состава:

Вода дистиллированная	до 1 л
Медь сернокислая	100 г
Калий бромистый	100 г
Калий двуххромовокислый	3 г
Кислота уксусная (30%-ная)	20 мл

Процесс ведется до полного отбеливания серебряного изображения и заканчивается примерно через 2—2,5 мин при температуре раствора 18—20° С.

После этого диапозитивы промывают 8—10 мин в проточной воде до исчезновения желтой окраски и погружают в фиксирующий раствор следующего состава:

Тиосульфат натрия	100 г
Метабисульфит калия	20 г
Вода	до 1 л

Затем диапозитивы тщательно промывают в проточной воде в течение 25—30 мин и высушивают.

Для тонирования один из диапозитивов каждой стереопары обрабатывают в растворе:

Вода дистиллированная	до 1 л
Краситель ярко-красный (кислотный) «Бриллиантланафуксин»	10 г
«Оранжевый» (кислотный) светопрочный АТ-2Г	20 г
Кислота уксусная (30%-ная)	10 мл

Другой диапозитив окрашивают в следующем растворе:

Вода дистиллированная	до 1 л
Краситель ярко-голубой (кислотный 3)	5 г
Кислота уксусная (30%-ная)	2,5 мл

После окраски диапозитивы промывают в воде 5—6 мин до полного осветления самых светлых мест изображения и высушивают.

Светофильтры к очкам можно изготовить из киноплёнки. Для этого неэкспонированную плёнку нужно отфиксировать, промыть, высушить и затем окрасить в нужный цвет.

Красный светофильтр получают путем окраски плёнки в 2%-ном растворе смеси двух красителей (в равных частях): ярко-красного и тартрацина.

Синий светофильтр — путем окраски плёнки в растворе красителей бирюзового голубого — 5 частей и метилена синего — 1 часть. Для окраски берут 1%-ный раствор указанной смеси. Продолжительность окрашивания плёнки для обоих светофильтров — 1,5—2,0 мин, после чего плёнки слегка ополаскивают водой, высушивают и монтируют в оправы из плотной бумаги или картона. Очки принято монтировать так, чтобы перед правым глазом находился

синий светофильтр, а перед левым — красный. Соответственно изображение, предназначенное для правого глаза, окрашивают в красный, а для левого — в синий цвета.

При изготовлении стереодиапозитивов для рассматривания на просвет размеры стереопары выбираются произвольно.

Если же диапозитивы предназначаются для стереопроекции, то их размер выбирают в зависимости от возможностей проекционного аппарата.

Поляроидный способ

Поляроидный способ, предложенный в 1891 г. Андертоном, основан на разделении изображений с помощью поляризованного света и позволяет воспроизводить цветные изображения.

Что такое поляризованный свет?

Поток света состоит из большого количества порций лучистой энергии, называемых квантами света, или фотонами. Фотоны излучаются атомами или молекулами. Поток фотонов распространяется со скоростью 300 000 км/сек и обладает волновыми свойствами. Каждое светящееся тело, состоящее из громадного числа атомов, излучает электромагнитные волны с колебаниями, направленными во все стороны. Такой свет известен под названием естественного, или неполяризованного. Однако в некоторых случаях колебания света могут распространяться только в одной плоскости, совпадающей с направлением луча. Этот свет, в отличие от неполяризованного, называют плоскополяризованным.

Следовательно, поляризация света заключается в том, что электромагнитные колебания светового луча полностью (полная поляризация) или частично (частичная поляризация) приводятся к колебаниям в одной плоскости. Обычно поляризации света достигают пропусканием световых лучей через двупреломляющий кристалл турмалина или исландского шпата. Световой луч, падая на кристалл, разделяется на два луча, поляризованных в двух взаимно перпендикулярных друг другу плоскостях. С помощью прибора, называемого поляризатором, один из этих лучей можно задержать. К таким приборам относится и анализатор. Если направление, в котором анализатор поляризует свет, перпендикулярно направлению, в котором луч поля-

ризован, то задержать его можно с помощью этого прибора.

Для получения поляризованного света чаще всего пользуются призмой Николя, которая изготавливается из кристаллов исландского шпата.

Однако естественные кристаллы, обладающие двулучепреломлением, очень дороги, поэтому и поляризационный способ сепарации изображений для проекции стереоскопических изображений с использованием призмы Николя не нашел широкого применения.

Использование двулучепреломляющих свойств дихроичного коллоидного соединения йода с хинином позволило получить значительно более дешевые препараты. Введение коллоида (коллоид геропатита) в целлулоидную пленку при соответствующей обработке позволяет ориентировать кристаллы коллоида в одном направлении и создать такую пленку, которая действует как поляризатор, пропуская линейно-поляризованный луч.

Для того чтобы осуществить разделение изображений стереопары с помощью поляризованного света, надо перед объективами двух проекторов установить поляризаторы со взаимно перпендикулярными плоскостями поляризации: например, поляризатор у объектива левого проектора поляризует свет в вертикальной плоскости, а у объектива правого — в горизонтальной. Каждый зритель снабжается очками, в которых левое очко будет пропускать только лучи, поляризованные в вертикальной плоскости, и задерживать лучи, поляризованные в горизонтальной, а правое — будет задерживать лучи, поляризованные в вертикальной, и пропускать лучи, поляризованные в горизонтальной плоскости. В этом случае зритель каждым глазом увидит лишь то изображение стереопары, которое предназначено для данного глаза.

На рис. 31 показана схема проекции в поляризованном свете. Этот способ, позволяющий воспроизвести цветное стереоскопическое изображение, получил распространение как за рубежом, так и в Советском Союзе, особенно в кино. В Советском Союзе такие стереокинотеатры функционировали в Москве, Алма-Ате, Тбилиси.

В Москве в кинотеатре «Рекорд» на установке, разработанной НИКФИ (Иванов Б. Т., Овсянникова Н. А., Ханукаев Д. Р., Щекочихин В. С. и другие), демонстрировался широкоэкранный цветной стереофильм «Вечер в Москве» (режиссер Немоляев В. Н., оператор Голадж С. К.) с уча-

ствием Олега Попова. Демонстрация фильма осуществлялась посредством двух обычных кинопроекторов, синхронно и синфазно связанных между собой.

Применение двух аппаратов для демонстрации стереофильмов создает определенные трудности при обеспечении одинаковой яркости и цветности изображений для левого и правого глаза и т. д.

В НИКФИ (Болтянский А. Г., Овсянникова Н. А.) разработана более совершенная система для съемки и показа

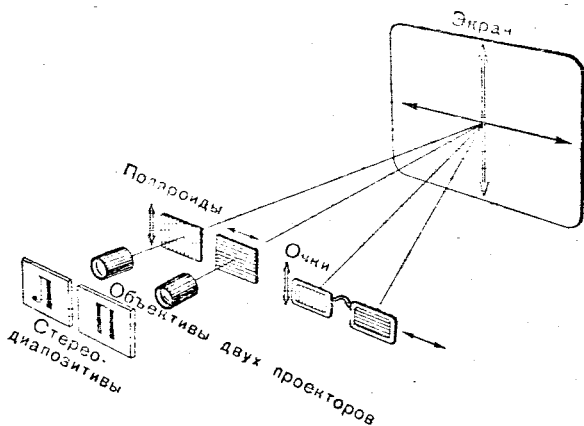


Рис. 31. Схема проекции в поляризованном свете

стереоскопических фильмов. В новой системе применена широкоформатная аппаратура с размещением кадров стереопары по горизонтали на одной 70-мм киноплёнке.

На киностудии «Мосфильм» сняты цветные стереофильмы «Да и нет» и «Таинственный монах» (постановщик А. Кольцатый).

Киностудией имени М. Горького снят стереофильм «Человек в зеленой перчатке» (постановщик Н. Экк) по системе «стерео 35/19» (С. П. Иванов) с использованием 35-мм пленки с 19-мм шагом перфорации.

Для демонстрации стереофильмов по очковой и безочковой системам в Москве оборудован кинотеатр «Октябрь».

В отличие от способа цветных анаглифов поляризационный позволяет воспроизводить цветное стереоскопическое изображение. Интересны работы по осуществлению стереоскопических изображений на отражение.

Эти работы проводились рядом исследователей. Например, в 1943 г. был выдан патент С. В. Атею на способ стереоскопической фотографии с использованием поляризованного света. С. В. Атей предложил метод получения вшнхтованной стереограммы, т. е. изображения, состоящего из чередующихся между собой полосок правого и левого изображений, который может быть использован для получения стереоскопической фотографии на отражение. Сущность метода заключается в следующем. В отличие от подобных оптических приспособлений для получения стереоскопических изображений в контакте с пленкой устанавливается специальный линейный поляризующий фильтр. Структура поляризующего фильтра представляет собой параллельный растр, состоящий из полосок поляризующего материала. При этом чередующиеся между собой полоски фильтра имеют плоскости поляризации, расположенные под прямым углом друг к другу.

Таким образом, все поляризующие полоски, расположенные через одну, имеют плоскость поляризации, расположенную горизонтально, а промежуточные полоски — вертикально.

Пленка, расположенная в плоскости за таким полосатым фильтром, фиксирует одновременно два изображения. После проявления на ней получается двойной снимок. Для их разделения служат два поляризатора с взаимно перпендикулярными плоскостями поляризации. Для устранения видимости полосок на изображении шаг линейного поляризующего фильтра должен находиться за пределами разрешающей способности глаза. Полученные таким образом вшнхтованные стереограммы обеспечивают получение стереоскопического эффекта. Подобные стереограммы могут быть изготовлены в виде бумажного отпечатка, диапозитива или в виде изображения, которое можно проецировать на экран.

Наибольшие трудности представляет изготовление линейного поляризационного фильтра.

Большой интерес представляет предложенный Э. Лэндом метод получения вектографов. Применение вектографов позволило устранить дополнительные приспособления для проектора: оба изображения в этом случае поляризуются в противоположных плоскостях при помощи поляроидных фильтров и фиксируются на фотографической эмульсии, которая, в свою очередь, содержит поляризующее вещество. Поэтому проекция производится без помо-

щип каких-либо насадок на проекторы, в то время как зрители, безусловно, должны пользоваться соответствующими очками.

Преимущество вектографов заключается в том, что два отпечатка размещаются в пределах одного изображения, они более удобны в обращении и при хранении. Рассматривание изображений происходит без применения каких-либо линз и других оптических деталей. Кроме того, указанный способ устраняет возможность получения пространственности с обратным рельефом.

Этот способ представляет собой следующее. Очень тонкие поляризующие поверхности, однородные по плотности и ориентации, изготавливаются путем ориентирования суспензии в пластмассе из субмикроскопических дихроичных кристаллов и наносятся на поверхность пластинки из стекла или пластмассы.

На эту поляризующую поверхность переносится затем слой задубленной желатины, содержащей рельеф фотографического изображения. Желатиновые стороны двух сопряженных отпечатков складываются эмульсией внутрь и затем располагаются так, чтобы окончательный вектограф представлял собой совмещение двух изображений стереопары. После этого при помощи липкой ленты отпечатки попарно соединяют между собой для более надежной их установки в приспособлении. При этом контур рельефа соответствует соотношению цветов и теней оригинала. Затем соединенные отпечатки помещают в ванну, составленную из специальных поляризующих растворов, на время от 0,5 до 1 мин, в течение которого желатина впитывает поляризующую жидкость. Естественно, что участки с толстым слоем желатины поглощают больше жидкости, чем участки с тонким слоем.

После этого отпечатки вынимают из ванны и разворачивают, как книгу. Между двумя эмульсионными сторонами изображения рельефных отпечатков помещают лист плоской прозрачной пластмассы и затем пропускают комплект между парой валиков, которые прижимают рельефные стороны отпечатков к поверхности пластмассы.

Таким образом, на лист пластмассы переносятся изображения для правого и левого глаза (на переднюю и заднюю стороны). Полученная таким образом пластинка с изображением стереопары называется вектографом.

Скрепленные рельефные отпечатки могут быть повторно использованы для получения других вектографов.

У вектографов, рассматриваемых в отраженном свете, заднюю поверхность окрашивают алюминиевой краской для получения отражения, а к вектографам, рассматриваемым на просвет с задней стороны, прикрепляют лист чистой матированной пленки. При проекции таких изображений на экран применяется алюминиевая поверхность.

Благодаря тому, что вектографы могут быть увеличены до сравнительно большого размера, прибегать к помощи оптического увеличения не нужно. Так, топографические диапозитивы и фотографии больших городов, снятые с воздуха, размером до 28×36 см могут вполне быть использованы для целей детального исследования.

Интересно отметить, что до разработки вектографов анализатор, например, для правого глаза был ориентирован таким образом, что его ось пропускания была параллельна направлению колебаний света, образующего изображения для правого глаза. Для вектографов анализатор у того же правого глаза имеет ось пропускания, пересекающуюся с направлением колебания света, образующего изображения для правого глаза. Черные участки образуются с помощью анализаторов в очках для рассматривания, белые участки видны вследствие того, что они не поляризованы.

Форма вектографа зависит от его назначения. Этот способ пригоден как для прозрачных изображений (диапозитивы, кинофильмы), так и для отпечатков на отражение в виде иллюстраций для книг и журналов.

При использовании вектографов для проекции одна составляющая света образует изображение для левого глаза, а другая — для правого глаза. Следовательно, проекция может производиться при помощи одного проектора, причем количество света, создаваемого этим проектором с данным световым потоком, получается таким же, как и при стереоскопических способах, использующих два проектора. Естественно, что нет никакой необходимости в какой-либо приставке при проекции по этому методу.

Если вместо вертикальной и горизонтальной плоскостей поляризации эти плоскости выбраны под углом 45° к горизонтали, то перестановка диапозитива слева направо не дает в результате левого изображения для правого глаза, и наоборот. Таким образом, вектографный диапозитив можно переворачивать, при этом явления обратного рельефа не наблюдается. Обратный рельеф может возникнуть, если вектограф или анализатор повернуть на 180° .

Чаще всего вектографы используют для непосредственного рассматривания в качестве иллюстраций для книг. Размеры их могут быть самыми различными. Вектограф, применяемый как иллюстрация, имеет следующие слои: 1) бумага, 2) суспензия из алюминиевых лепестков, 3) вектографное изображение для правого глаза, 4) вектографное изображение для левого глаза, 5) твердый водонепроницаемый лак. Все эти слои прочно связаны друг с другом. Такой отпечаток воспринимается невооруженным глазом в виде слегка нерезкой фотографии обычного типа.

Вектографные изображения позволяют производить непрерывную регистрацию пар изображений или схем, связанных одна с другой. Например, спынка (чертеж) и фотография готовой машины могут быть зафиксированы в одном масштабе на одном отпечатке или диапозитиве и одно изображение будет подавляться другим в желаемой степени. Вектографные изображения применяются и в обсерваториях.

Астрономические наблюдения могут быть сделаны через определенные промежутки времени с фиксацией на одной и той же поверхности так, что при быстром вращении анализатора могут быть обнаружены мельчайшие изменения. Вообще, вектографы позволяют производить непрерывную регистрацию этапов работы, ранее выполнявшуюся при помощи мигающего стереоскопа.

Открытие способа изготовления дешевых поляризационных фильтров с сравнительно большими поверхностями и вектографов ускорило и расширило область применения поляризационного метода.

Растровые системы

Ранее мы рассматривали способы восприятия стереоскопических изображений с помощью индивидуальных наглазных приспособлений (стереоскопы, очки и пр.), однако восприятие стереоскопических изображений может быть осуществлено и без этих устройств. В безочковых способах стереоскопии сепарация изображений осуществляется с помощью решетки, или так называемого растра. Первоначально растр и различные растровые системы имели весьма ограниченное применение. Практически их использовали только в полиграфической промышленности. В настоящее время растр получил распространение в различных

областях, например в телевидении, в цветной и стереоскопической фотографии и кинематографии, в измерительной технике, при высокоскоростной съемке и т. д. Наибольшее распространение получил линзовый растр, что привело к созданию специального раздела растровой оптики.

Растровая стереоскопия обладает рядом преимуществ, к числу которых относятся:

возможность получения в фокальной плоскости растра дискретного (прерывистого) ряда элементарных изобра-

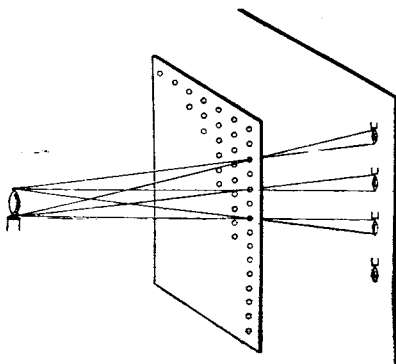


Рис. 32. Схема преобразования простой решеткой (растром) световых пучков, идущих от светящегося объекта

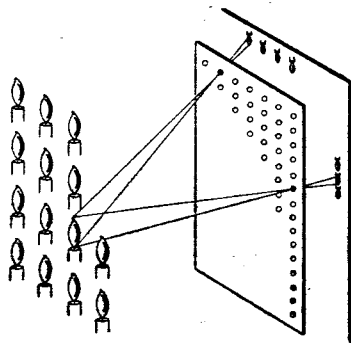


Рис. 33. Схема умножения изображений через смежные элементы (отверстия) решетки

жений, характер которых зависит от формы и оптических свойств отдельных элементов, составляющих растр (рис. 32);

возможность при обратном ходе лучей от полученных в фокальной плоскости растра элементарных изображений восстанавливать в предметном пространстве форму и положение исследуемого объекта;

возможность восстанавливать в предметном пространстве первоначальный объект в виде ряда подобных пространственных образов исследуемого объекта (рис. 33).

Следует отметить, что отдельные свойства растровых систем могут найти и самостоятельное применение. Как известно, свойство растровых систем восстанавливать в предметном пространстве ряд подобных пространственных образов исследуемого объекта нашло применение при разрешении проблем восприятия стереоскопических изображений по безочковому способу.

Растр, представляющий собой своеобразную оптическую систему, состоит из большого числа оптических элементов, которые определенным образом ориентированы на поверхности. В зависимости от того, представляют ли собой указанные элементы растра отверстия или линзы, растры можно подразделять на щелевые (светопоглощающие) и линзовые (светосильные).

Растры могут быть нерегулярные, когда элементы имеют неправильную форму или их расположение на поверх-

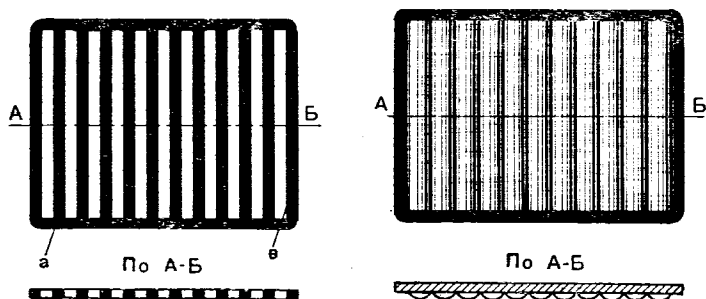


Рис. 34. Параллельные растры: слева — светопоглощающий (щелевой) растр (*a* — черная полоса, *b* — щель растра); справа — светосильный (линзовый) растр

ности произвольное, и регулярные, когда все элементы растра имеют подобную геометрическую форму или их расположение на поверхности производится по определенному закону.

По структуре элементов и их расположению на поверхности растры могут быть параллельными, радиальными, круговыми, сотовыми.

Мы остановимся только на параллельных растрах, получивших наибольшее распространение в стереоскопической фотографии.

Параллельные растры бывают светопоглощающими и светосильными. Светопоглощающие параллельные растры состоят из параллельных черных полос *a* и щелей *b* между ними (рис. 34, слева), светосильные — из параллельно расположенных линзовых элементов с цилиндрической поверхностью (рис. 34, справа).

Если такой растр установить на определенном расстоянии перед обычной отражающей поверхностью (экраном) (рис. 35) и осветить ее через растр, то на этой поверхности мы увидим серию параллельных светлых полос. При этом

каждой щели растра будет соответствовать светлая полоса на отражающей поверхности.

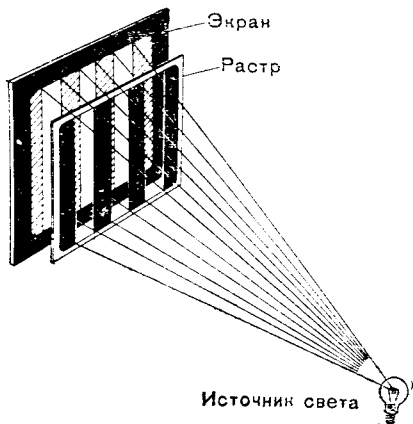
Если мы из той же точки пошлем на отражающую поверхность какое-либо изображение, то на этой поверхности мы увидим серию параллельных полосок (элементов изображения), в то время как остальная часть изображения поглотится черными полосками растра. Все полоски изображения мы можем увидеть одновременно только в том

случае, если наш глаз будет находиться перед растром в определенном положении и на том же расстоянии от него, что и источник света.

В плоскости, проходящей параллельно растру, на том же расстоянии, что и источник света, можно обнаружить серию параллельных вертикальных зон, из пределов которых можно видеть все светлые полоски на экране одновременно.

До настоящего времени мы говорили об

Рис. 35. Схема прохождения лучей через параллельный щелевой растр



одном изображении, которое посылали на экран, в то время как для получения стереоскопического эффекта нужна пара изображений.

На экране за растром при проекции одного изображения не все пространство заполняется элементами изображения. На это незаполненное пространство можно отбросить через тот же растр второе изображение стереонары (для второго глаза), но место источника света выбрать таким образом, чтобы все элементы этого другого изображения расположились между элементами первого изображения (рис. 36).

Очевидно, это второе изображение, так же как и первое, мы можем видеть только с определенных позиций. Следовательно, если расстояние между источниками света выбрать равным расстоянию между глазами, то один глаз, находящийся в одной позиции, будет видеть только то изображение, которое для него предназначено; изображение,

предназначенное для другого глаза, будет загорожено черными полосами растра. В то же время второй глаз, находящийся в иной позиции, будет видеть изображение, предназначенное для него, и не увидит первого. В этой иной позиции те же черные полосы растра перекрывают все элементы первого изображения. Такие позиции будут расположены только на определенном расстоянии от экрана.

Таким образом, для сепарации изображений стереопары нет нужды надевать на глаза какие-либо устройства для разделения изображений. С помощью растра, установлен-

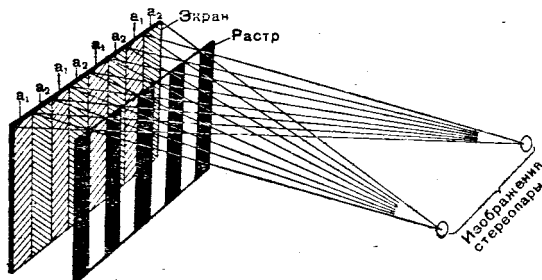


Рис. 36. Схема проекции двух изображений через растр: a_1 — изображение для правого глаза; a_2 — изображение для левого глаза

ного перед экраном, каждым глазом в отдельности можно видеть предназначенное для него изображение.

Недостатком светопоглощающего растра является поглощение черными полосками значительной части света, направленного через него на отражающую поверхность. Использование растра с линзовыми элементами цилиндрической поверхности вместо щелевого устраняет этот недостаток.

Процесс получения стереоскопической фотографии с линзовым параллельным растром заключается в следующем. Если установить такой растр вплотную к фотопластинке и произвести через него съемку обычным фотоаппаратом, то каждая линза растра на пластинке воспроизведет в виде узкой полоски ту часть изображения, которая попала через объектив в поле зрения данной линзы.

Таким образом, на пластинке будет снят ряд элементов изображения в виде узких полосок, чередующихся с промежутками, не занятыми элементами изображений. Если на эту пластинку произвести вторичную съемку, предва-

рительно передвинув объектив вправо или влево так, чтобы элементы (полоски) изображений, воспроизводимых линзами растра, оказались на пластинке в незаснятых промежутках, то можно получить негатив, состоящий из чередующихся в виде полосок частей первого и второго изображений объекта, снятого с двух точек зрения.

Изготовив с полученного негатива диапозитив и совместив его с тем же растром, зритель при рассматривании диапозитива через растр увидит стереоскопическое изображение снятого объекта, так как каждый глаз наблюдателя увидит только одну серию элементов (полосок) изображения и не увидит второй.

При фотосъемках через линзовый растр фотоаппаратом с двумя объективами, что необходимо в случае съемки движущихся объектов, за каждой линзой растра мы получим по две полоски с изображениями, соответствующими правому и левому объективам.

Параллельные растры используют для сепарации стереоскопических изображений (растровая стереофотография) для одного зрителя. Система с параллельным растром, состоящим только из непрозрачных элементов, обеспечивающая стереоскопическую проекцию для одного зрителя, была предложена П. Соколовым (1908). Она основана на специальной гофрировке светочувствительной поверхности фотопластинки. Контур специальной гофрировки получается путем проекции лучей из двух точек, расположенных на расстоянии 65 мм, т. е. на расстоянии среднего базиса глаз.

Пучки этих лучей вблизи поверхности эмульсионного слоя пересекаются, образуя гофр, причем одна сторона зубцов гофра видна только правому, а другая — только левому глазу.

На гофрированной поверхности светочувствительной пластинки печатают два стереоскопических изображения: одно — на одной стороне зубцов гофра, другое — на другой.

При рассматривании снимка (рис. 37) из точек A_1 и A_2 оба изображения сливаются, и зритель ощущает стереоскопический эффект.

Некоторые авторы (М. Эстанав и другие) предлагали систему стереоскопии с использованием параллельного растра для организации статической проекции для ограниченного числа зрителей. В этой системе стереоскопический эффект получается при помощи так называемых автостереоскопических пластинок.

Для осуществления этой системы необходимо иметь:

1) растр, состоящий из параллельных непрозрачных полос, нанесенных на одну поверхность стеклянной пластины и расположенный спереди диапозитива (изготовление растра см. ниже);

2) диапозитив, составленный из узких полос двух сопряженных изображений и полученный путем проекции этих изображений через растр, помещенный на передней поверхности стеклянной пластины и установленный перед диапозитивом; при этом элементы одного изображения расположены попеременно с элементами другого изображения;

3) матовое стекло, помещенное за диапозитивом.

Эти пластины тщательно соединяют между собой. Наблюдение производится на просвет со стороны растра, при помощи которого каждый глаз зрителя, находящийся в определенной позиции, видит только одно, для него предназначенное изображение. Для получения хорошего стереоэффекта необходима тщательная сборка растра с диапозитивом.

Впоследствии этот процесс был значительно упрощен тем, что для диапозитива и растра употреблялась одна пластинка. Для этой цели на обратную сторону обычной фотографической пластинки наносится растр, состоящий из черных вертикальных параллельных между собой полос.

Такой растр может быть нанесен фотографическим путем с обычного полиграфического растра или с вычерченного в большом масштабе или механическим способом — путем гравировки, посредством жирных чернил и т. д. Затем его покрывают коллодином или другим приспособленным для этой цели лаком, чтобы предохранить пластинку от механических повреждений (царапин) и от воздействия химикатов.

Другая сторона стеклянной пластинки, имеющая заранее рассчитанную толщину, в зависимости от размеров элементов растра и их фокусных расстояний (т. е. толщину, равную фокусному расстоянию линз), покрывается мелкозернистой эмульсией, с тем чтобы можно было произ-

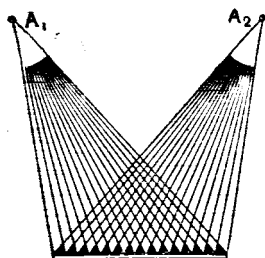


Рис. 37. Автостереоскопическая гофрированная пластинка

вести обработку пластинки методом фотографического обращения.

Через растр на эмульсионный слой фотографируют (при помощи камеры с двумя объективами или каким-либо другим аппаратом) два стереоскопических изображения. Благодаря наличию растра перед светочувствительным слоем пластинки изображения на нем получаются не сплошными, а в виде узких полосок. Если расстояние между двумя объективами, при помощи которых фотографируют стереоскопические изображения, установить таким образом, чтобы полоски одного изображения разместились между полосками другого изображения или на некотором расстоянии одна от другой, то на пластинке получится как бы одно изображение с раздвоенными в некоторых местах контурами, состоящее из чередующихся между собой полосок правого и левого изображений.

После соответствующей обработки фотографическую пластинку можно рассматривать на просвет со стороны растра. При этом для получения стереоэффекта зритель должен найти такую позицию, из пределов которой каж-

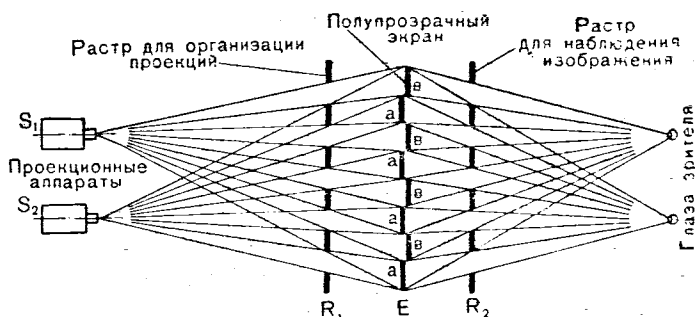


Рис. 38. Схема стереоскопической проекции при помощи растра на просвет

дый глаз будет видеть только одно, для него предназначенное изображение.

Если на пластинку вместо обычной нанести эмульсию, применяемую для цветных фотоматериалов, то при наблюдении этой пластинки на просвет создается впечатление цветного объемного изображения.

Для стереоскопической проекции на просвет необходимо спереди и сзади полупрозрачного экрана установить два параллельных растра (рис. 38). На такой полупрозрач-

ный экран через один растр проецируют изображения для левого и правого глаза, а через другой — наблюдают стереоскопический эффект.

Таким образом, параллельный растр позволяет без применения индивидуальных устройств или очков наблюдать стереоскопический эффект непосредственно на пластинке или при проекции изображений через растр на экран.

Из приведенных схем параллельного растра видно, что он позволяет рассматривать изображение с различной высоты (стоя, сидя), но на определенном расстоянии от растра. Это расстояние может быть различным, в зависимости от фокусных расстояний линз растра.

Интересные работы в области практического применения растровой стереофотографии проведены в НИКФИ (С. П. Иванов и Л. В. Акимкина) по изготовлению серии стереодиапозитивов размером 250×250 мм со светосильным, или, иначе, линзовым растром.

При получении стереодиапозитива за растром можно поместить фотопластинку, которую после соответствующей обработки монтируют с растром. Для устранения эффекта обратного рельефа (когда близлежащие предметы удаляются, и наоборот) проекционный базис выбирается вдвое большим, чем базис зрителя.

Изображение, спроецированное на систему растр — отражающая поверхность, разбивается растром на ряд узких полос, так как каждая линза растра, являясь самостоятельной оптической системой, фокусирует упавшую на нее часть света в виде вертикальной узкой полосы на отражающей поверхности.

Таких полос, естественно, должно быть в два раза больше общего числа линз, так как при проекции двух изображений каждая линза фокусирует оба изображения и в фокальной плоскости, т. е. на отражающей поверхности, чередуются полоски правого и левого изображений (рис. 39).

Каждая линза фокусирует упавшую на нее часть света в виде узкой полоски (шириной в несколько микрон). Та-

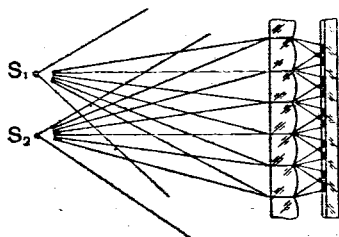


Рис. 39. Чередование на отражающей поверхности элементов изображения от правого и левого снимков

ким образом, при определенном поперечнике линз растра только незначительная часть оказывается занятой изображениями, остальная же поверхность остается свободной.

Если ширину светлой полосы на отражающей поверхности обозначить буквой a' , то при расстоянии до проектора L ширина зоны x оказывается равной следующему отношению:

$$x = \frac{a' L}{f},$$

где f — фокусное расстояние линз растра.

Как видим, при большой светосиле растровой системы ширина зоны получается незначительной.

Незначительная ширина зон требует очень точного расположения глаз зрителя. Это большой недостаток такого стереодиапозитива. Для устранения его можно увеличить диафрагму проекционного объектива, однако при этом может уменьшиться резкость изображения.

Указанный недостаток устраняется также при проекции не одним, а одновременно двумя или тремя проекторами, в зависимости от качества растра. Аналогичный результат можно получить и при использовании только одного проектора. Для этого необходимо во время экспонирования перемещать объектив зеркальной насадкой в сторону так, чтобы все свободное пространство между правым и левым изображениями было занято такими же изображениями.

При таком заполнении свободного пространства необходимо следить за тем, чтобы устранить возможность появления инвертных (с обратным рельефом) изображений. Для этого необходимо соблюдать следующее условие:

$$R > B_{\text{зр}},$$

где R — расстояние между парами зон.

Обычно при проекции проще перемещать не проектор, а фотопластинку с растром, так как малейшее сотрясение проектора вызывает вибрацию изображения, а следовательно, и его нерезкость.

Более правильно можно решить эту задачу путем печати серии изображений, снятых с различных точек зрения. В этом случае наряду с расширением зон улучшается пространственное воспроизведение объектов съемки: зритель при перемещении головы или диапозитива может наблюдать снятый объект в разных ракурсах, как бы огля-

дывая его с разных точек. Фиксация серии изображений на одной пластине позволяет также при поворачивании диапозитива наблюдать отдельные фазы движения снятого объекта.

Тот же эффект, но с более плавным изменением ракурса изображения при переходе из одной зоны в другую можно получить при съемке объективом большой апертуры. Правда, при этом, в зависимости от величины фокусного расстояния, получается незначительная глубина резкости, что в известной степени ограничивает возможности этого способа.

Надо отметить, что растровые стереоскопические фотографии можно изготовлять не только на прозрачных подложках в виде диапозитивов, но и на непрозрачных подложках в виде обычных фотографических отпечатков. В частности, такие растровые стереоскопические фотографии широко были использованы в качестве иллюстраций в журнале «Лук» (США). С этой целью на обратную сторону растровой фотографии наклеивалась алюминиевая фольга, отражающая свет, падающий на фотографию. В качестве подложки линзовых растров можно использовать также пластик.

В НИКФИ еще в 1938—1941 гг. был разработан метод изготовления линзовой растровой пленки для получения стереоскопических фотографий (Н. А. Валюс, Г. В. Авилов).

Для рассматривания стереоскопических изображений непосредственно на линзово-растровой пленке пленка должна иметь определенную конструкцию раstra, параметры которого должны удовлетворять определенным требованиям.

Изображение, рисуемое лучами из отдельного центра проекции, проецируется через линзы раstra на светочувствительный слой, следовательно, при обратном ходе лучей это изображение будет видимо через линзы раstra из центра, соответствующего точке проекции. Отсюда, если на растровой пленке зафиксировать стереоскопические изображения, проецируемые из двух центров проекции, то можно наблюдать раздельно правым и левым глазом изображения стереопары.

Обозначим расстояние между плоскостью рассматривания и верхней поверхностью раstra через L , толщину пленки — через f , а расстояние между полосками изображения для левого и правого глаза, проецируемыми из двух

центров проекции, — через e . В этом случае мы можем записать следующую зависимость:

$$\frac{f}{e} = n \cdot \frac{L}{B_{\text{пр}}},$$

где: n — коэффициент преломления целлулоида пленки; $B_{\text{пр}}$ — расстояние между центрами проекции.

При этом величина e должна быть равна или меньше диаметра линзы растра, с тем чтобы элементарные изображения от соседних линз растра не налагались друг на друга. Это условие может быть выражено в следующем виде:

$$L = \frac{f \cdot B_{\text{пр}}}{en}.$$

При равномерном распределении полосок правого и левого изображений расстояние между ними должно быть равно $\frac{e}{2}$. В этом случае величина

$$L = \frac{2B_{\text{пр}}f}{ne}.$$

При этом радиус кривизны R линз растра может быть определен из закона преломления световых лучей их сферической поверхности. В связи с тем, что главный фокус линз растра должен лежать на эмульсионном слое

$$R = f \frac{n-1}{n}.$$

Возьмем для примера следующие данные: $B_{\text{пр}} = 65 \text{ мм}$; $L = 250 \text{ мм}$; $n = 1,5 \div 1,6$ (в зависимости от выбранного материала основы пленки); e — не должно быть меньше удвоенной разрешающей способности фотографических эмульсий пленок, чтобы за каждой линзой растра на светочувствительном слое пленки могло быть зафиксировано раздельно два элемента изображения (при воспроизведении, конечно, только одной стереопары).

Поперечник линз растра меньше разрешающей способности глаза. При остроте зрения в 1 мин при расстоянии рассматривания такой фотографии на 250 мм поперечник линз должен быть не более 75 мк, так как

$$250 \text{ tg } 1' = 0,075 \text{ мм}.$$

Разрешающая способность эмульсии в случае применения такого растра должна быть не менее

$$\frac{75}{2} = 37,5 \text{ мк},$$

т. е. не менее 28 *лин/мм*, что вполне может быть получено на известных сортах фотоэмульсии.

В случае применения нормальной фотопленки на целлулоидной основе ($n = 1,5$) можно определить ее необходимую толщину:

$$f = \frac{neL}{2B_{\text{пр}}} = \frac{1,5 \cdot 0,075 \cdot 250}{2 \cdot 65} = 0,22 \text{ мм}.$$

Толщина выпускаемых в продажу фотопленок обычно не превышает 120—140 *мк*, следовательно, для получения растровой пленки по тем параметрам, которые установили выше, необходимо брать пленку большей толщины или несколько изменить заданные параметры.

Получение на поверхности фотопленки линзовых элементов растра может быть достигнуто различными путями:

1) выдавливанием рельефа на поверхности готовой пленки;

2) отливкой пленки на гофрированной поверхности матрицы, специально изготовленной для этой цели.

Наиболее целесообразно наносить линзовый рельеф на пленку в процессе изготовления самой пленки на отливочной машине до нанесения на нее эмульсионного слоя.

Наиболее сложно изготовить матрицу. Она должна обеспечивать возможность штамповки микроскопически малых цилиндрических линз. Такие линзочки должны иметь совершенно гладкую поверхность, точно выдержанный радиус кривизны и должны вплотную прилегать друг к другу.

Экспериментально установлено, что наиболее простым оказался способ получения полуцилиндрической поверхности при помощи намотки проволоки на ролик с последующей гальванизацией. На основе такой технологии были изготовлены растровые стереоскопические фотографии для рассмотрения как на просвет, так и на отражение.

Попытки осуществления растровой стереоскопической фотографии на гибкой подложке были сделаны и другими

авторами. Например, французский ученый М. Бонне разработал метод изготовления таких стереоскопических фотографий, рассматривая которые при движении головы, постепенно охватывая разные фазы движения, можно ощутить перемещение объекта. Видимо, М. Бонне, так же как и С. П. Иванов, снимал объект не с одной точки зрения, а с нескольких.

По имеющимся данным съемка объектов для таких фотографий производилась в специальном помещении следующим образом. Портретируемый садился на возвышение под большой поток искусственного света. За время экспонирования (примерно 2 сек) камеру поворачивали на оси, расположенной под стулом. Одновременно с этим поворачивался и прозрачный растр на горизонтальной подставке, что позволило производить панорамную съемку в ограниченных пределах.

Известны также работы Дугласа Ф. Уиннека, который предложил изготавливать растровую пленку на специальном приспособлении с гофрированным валиком.

В настоящее время в некоторых странах (Япония, США и др.) выпускаются растровые цветные стереоскопические фотографии. Многие фирмы цветное изображение за растром получают типографским (офсетным) путем, что значительно удешевляет весь процесс изготовления стереоскопических фотографий.

В этом случае оригинал цветной растровой фотографии получают обычным путем при проекции стереоскопических изображений через растр на пластинку или пленку с цветной эмульсией.

После соответствующей обработки полученный оригинал размножают типографским путем. После этого цветной отпечаток монтируют с таким же растром, через который производилось изготовление оригинала.

Рассматривают цветные стереоскопические фотографии со стороны растра.

В небольшом княжестве Бутан, расположенном в глубине Гималаев, способ получения цветных стереофотографий на линзово-растровой пленке применен для выпуска красочных стереоскопических почтовых марок. Контроль качества их осуществляется с помощью биноклярных микроскопов. Эта маленькая страна является не только первой, но и единственной страной в мире, выпускающей высококачественные стереоскопические марки.

Интегральная фотография, т. е. получение изображения по методу суммирования (интегрирования) большого количества микроскопически малых изображений. Идея получения интегральной фотографии была высказана Г. Липпманом еще в 1908 г. Однако недостаточный уровень развития техники изготовления растров в то время не позволил ему практически осуществить интегральную фотографию.

Специальная фотографическая пластинка (рис. 40), предложенная Липпманом для осуществления интеграль-

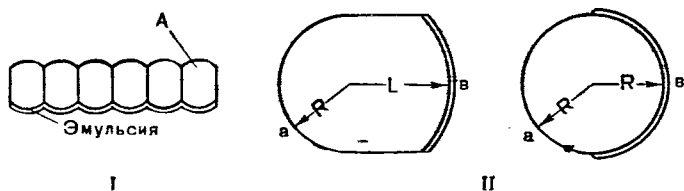


Рис. 40. Разрез пластинки Липпмана: *I* — разрез пластинки; *II* — разрез линзового элемента; *R* и *L* — радиусы сферических оснований *a* и *b*

ной фотографии, напоминает строение глаза мухи. Как видно из рисунка, пластинка состоит из большого числа микроскопических линзочек, что позволяет фиксировать на светочувствительном слое отдельные микроскопические элементы изображения.

Светочувствительный слой наносят на заднюю поверхность пластинки. При этом, если размеры линзовых элементов будут незначительны (например, если их диаметр не будет превышать 0,25 мм), то все предметы, находящиеся на расстоянии 1 м и далее до бесконечности, будут фокусироваться в главной фокальной плоскости. Так как каждая линзочка такой пластинки представляет собой самостоятельный съемочный объектив, то фотографирование предметов на такую пластинку должно производиться без фотоаппарата.

Русским исследователем П. Соколовым (1909) для получения интегральной фотографии была изготовлена фибровая пластинка толщиной 3 мм, размером 15 × 20 см, имеющая по всей поверхности 1200 конических отверстий.

Эти отверстия играли роль маленьких фотографических объективов.

С помощью таких пластинок П. Соколову удалось осуществить фотографирование нескольких светящихся точек, в качестве которых служили электрические лампочки.

В дальнейшем подобные попытки делались также и зарубежными исследователями — Е. Эстанавом, Р. Грамптанем и Р. Планвернем, которые для получения интег-

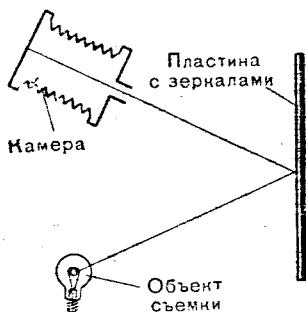


Рис. 41. Схема интегрального фотографирования

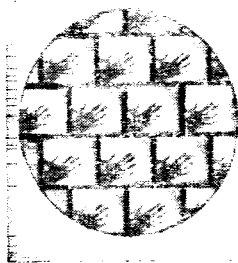


Рис. 42. Участок интегральной фотографии

ральной фотографии использовали большое количество фацетных зеркал. Зеркала эти располагались таким образом, чтобы каждое из них давало изображение одного и того же объекта с несколько отличной друг от друга точки зрения.

Для фотографирования была использована фотокамера с одним объективом (рис. 41). С помощью этой камеры был получен ряд интегральных фотографий.

Осуществление интегральной фотографии было проведено в 1948 г. в НИКФИ также С. Ивановым и Л. Акимкиной. В ходе этой работы были изготовлены растровые пластинки со сферическими элементами, расположенными по всему полю пластинки. Всего на нее было нанесено около 2 млн. линз с диаметром около 0,3 мм и с фокусным расстоянием порядка 0,5 мм.

Микрофотографию части интегральной фотографии, полученной с помощью такого раstra, см. на рис. 42. Как видно, каждая линза пластинки фиксирует один и тот же объект с разных точек зрения с достаточной резкостью.

При рассматривании интегральных фотографий, сфотографированных непосредственно самим растром, можно было, не теряя впечатления рельефа, передвигаться (в пределах определенной зоны) как вправо и влево, так и вверх и вниз. При этом при всяком передвижении глаз зритель наблюдает непрерывное перемещение близких предметов относительно дальних, т. е. зона наблюдения в полученной интегральной фотографии действительно представляет собой непрерывное пространство, в пределах которого из любой точки можно наблюдать стереоэффект.

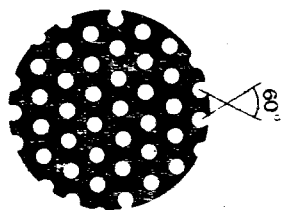


Рис. 43. Участок сетчатого растра

В настоящее время в связи с окончанием разработки технологии изготовления сетчатых (рис. 43) растров высокого качества с большой точностью как по диаметру, так и по шагу элементов растра представляется возможность практически осуществить интегральную фотографию высокого качества.

Стереоскопическая фотосъемка

Для получения объемных изображений на рисунке, фотографии, экране необходимо сначала получить два рисунка или два фотоснимка, которые показывали бы объект съемки так, как его видят отдельно левый и правый глаза. Когда такие снимки получены, нужно, чтобы каждый глаз видел только одно, именно для него предназначенное изображение, тогда в сознании возникнет отвечающее действительности восприятие глубины и объемности предмета — стереоизображение.

Однако стереоскопический эффект при рассматривании объемных изображений, предметов, находящихся на первом плане и на значительном удалении, будет различным.

Выше мы говорили о том, что если зрительные оси глаз почти параллельны, то объемного изображения не будет, так как левый и правый глаз видят одинаковые изображения предметов.

Так как расстояние между обоими глазами, называемое базисом, колеблется в интервале от 54 до 72 мм, в зависимости от возраста и пола человека, то при рассматривании

удаленных предметов угол конвергенции становится чрезвычайно малым и практически одинаковым для всех очень удаленных предметов. Поэтому при больших расстояниях предметы кажутся нам нерельефными и лежащими в одной плоскости. Такое ощущение появляется при рассмотрении предметов, удаленных от нас приблизительно на 500—600 м и далее.

Основные параметры съемки. Специфической особенностью стереоскопической фотографии является эффект пространственности изображения, получаемого при раздельном наблюдении, например в стереоскопе. При выборе того или иного кадра для стереоскопической съемки необходимо учитывать его компоновку и в третьем измерении. В то же время надо знать, что протяженность снимаемого объекта может быть воспроизведена на стереоснимке по-разному, в зависимости от используемых величин основных параметров стереосъемки.

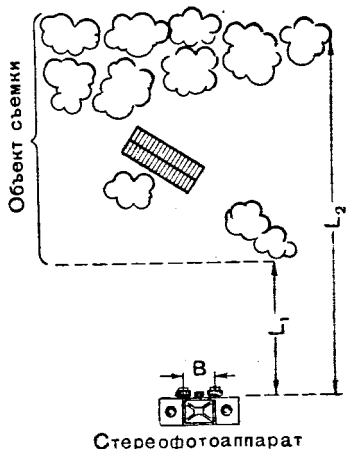


Рис. 44. Съемка стереофотоаппаратом

К основным параметрам стереосъемки относятся: стереоскопический базис (рис. 44) или просто базис

(B) — расстояние между оптическими осями объективов; фокусное расстояние объективов и расстояние от аппарата до передней (L_1) и задней (L_2) границ снимаемого объекта.

В зависимости от принятых при съемке значений основных параметров меняется и величина параллакса P , или, иначе, сдвига одноименных точек изображений стереопары относительно друг друга. Благодаря изменению величины параллакса при одновременном и раздельном наблюдении обоих снимков создается ощущение глубины и объема изображения. Отсюда, изменяя величины указанных параметров, можно воспроизвести протяженность объекта в стереоскопическом снимке относительно близкой к действительности или преувеличенной, т. е. как бы растянутой в глубину, или, наконец, преуменьшенной, т. е. как бы сжатой против действительной.

Указанные ранее параметры съемки связаны между собой следующей зависимостью:

$$P = \frac{B \cdot f}{L_2} \quad \text{или} \quad P = \frac{B}{L_2 - L_1} \quad (I)$$

Эти величины удобнее всего выражать в миллиметрах. Из приведенной зависимости мы видим, что с увеличением базиса или фокусного расстояния объективов фотоаппарата и уменьшением расстояния до снимаемого объекта возрастает величина сдвига (параллакса) одноименных точек изображений стереопары. Необходимо иметь в виду, что при увеличении расстояния до снимаемого объекта увеличивается и базис съемки.

Как показывает опыт стереоскопических фотосъемок, можно установить зависимость между величиной базиса B и расстоянием L от аппарата до снимаемого объекта, вернее, до его передней границы. Она выражается формулой:

$$B = \frac{L}{50} \quad \text{или} \quad L = 50B.$$

Численный сдвиг

$$\beta = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_2 - L_1} \cdot C$$

при $L_2 = \infty$

Это значит, что при выбранном расстоянии L до снимаемого объекта, стереобазис B не должен превышать $1/50$ и, наоборот, при стереосъемках аппаратами с постоянным базисом расстояние до снимаемого объекта не должно быть менее $50B$. В противном случае при рассматривании снятой пары снимков в стереоскопе их слияние в одно объемное будет сопровождаться зрительным напряжением, а в отдельных случаях (при значительных нарушениях) — даже двоением изображения.

Нужно также отметить, что принятое соотношение $B:L$ приемлемо и в отношении правильного воспроизведения в стереоскопическом снимке глубинного расположения деталей снятого объекта. В этом случае при стереосъемках с соблюдением указанного соотношения $B:L$ величины максимальных параллаксов одноименных точек на всех стереопарах будут зависеть только от фокусного расстояния используемых объективов. В самом деле, подставив в формулу (I) $50B$ вместо L , получим:

$$P = \frac{f}{50}$$

т. е. величина параллакса будет равна $1/50$ фокусного расстояния используемых объективов.

Таким образом, в случае соблюдения при стереофото съемках принятого соотношения $B:L$ и применения объективов с одним и тем же фокусным расстоянием величины максимальных параллаксов на всех стереопарах будут одинаковыми.

Получение стереоскопических снимков с одной и той же величиной максимального параллакса облегчает также наблюдение стереоскопического эффекта лицам, не имеющим навыков в рассматривании стереоскопических снимков.

Кроме того, принятое числовое выражение отношения базиса к расстоянию до ближайшей границы снимаемого объекта позволяет определить в каждом отдельном случае все другие параметры стереофото съемки.

Пример. Допустим, что стереофотоустановка или стереофотоаппарат имеет постоянный базис (почти все стереофотоаппараты имеют постоянный базис и в подавляющем случае несменные объективы). В этом случае можно предварительно подсчитать:

1. Предельно близкое расстояние L от аппарата до снимаемого объекта (при базисе, например, 65 мм оно будет равно: $65 \text{ мм} \times 50 = 3250 \text{ мм} = 3,25 \text{ м}$).

2. Величину максимального параллакса для этого расстояния (при объективе с фокусным расстоянием, например, 50 мм величина параллакса составит: $50 \text{ мм} : 50 = 1 \text{ мм}$). Правда, это не значит, что с этим базисом нельзя снимать объекты, расположенные ближе чем 3,25 м от аппарата.

Многие фотолюбители снимают объекты, расположенные значительно ближе к аппарату. В отдельных случаях, когда объект съемки не имеет строго принятых размерных соотношений (например, пестик, тычинка, весь цветок в целом и т. п.), расстояние снимаемого объекта от аппарата может быть сокращено. Однако в этих случаях при рассматривании изображений объем будет восприниматься несколько искаженным.

Таким образом, для каждого стереофотоаппарата или какой-либо другой фотоустановки, имеющих постоянный базис и несменные объективы, могут быть определены в соответствии с принятым соотношением $B:L$ наименьшее расстояние от ближайшего объекта съемки до аппарата $L_{\text{мин}}$ и максимальный параллакс на снимках $P_{\text{макс}}$.

Надо отметить, что восприятие объектов в пространстве при наблюдении стереоскопических изображений может быть различным и зависит от многих факторов. Например, от величины разрешающей способности используемых объективов и светочувствительных материалов, правильного расположения материала (пленки или пластинки) в плоскости съемочного окна аппарата, правильного экспонирования материала, качества печати, обработки и т. д. Все это может быть охарактеризовано как общая разрешающая способность всей системы: объектив — аппарат — материал.

При съемке одним аппаратом качество разрешения деталей снимков будет зависеть при всех прочих равных условиях от разрешающей способности светочувствительного материала.

Если же съемка производилась на одном негативном материале, то степень разрешения деталей на снимке будет зависеть от разрешающей способности позитивного материала.

При изготовлении стереоснимков на фотобумаге, разрешающая способность которой не превышает 10 *лин/мм*, пределом разрешения напечатанных на ней изображений в лучшем случае может приниматься величина, равная 0,1 *мм*. В этом случае минимальные параллаксы, величина которых меньше 0,1 *мм*, не будут различимы на снимках по глубине и при наблюдении изображений в стереоскопе не воспроизведут пространственную картину.

Расстояние L от аппарата до плоскости, в которой будет еще ощущаться объем на стереоснимке, определяют по той же формуле (I):

$$P_{\text{мин}} = \frac{Bf}{L_{\text{макс}}} \text{ и } L_{\text{макс}} = \frac{Bf}{P_{\text{мин}}}.$$

При $B=65$ *мм*, $f=75$ *мм* и $P_{\text{мин}}=0,1$ *мм*

$$L_{\text{макс}} = \frac{65 \cdot 75}{0,1} \text{ мм} = 650 \cdot 75 = 48\,750 \text{ мм} = 48,75 \text{ м},$$

т. е. искомое расстояние от аппарата будет равно 48,75 *м*, а протяженность объемного изображения будет равна: 48,75 *м* — 3,25 *м* = 45,5 *м*:

Следовательно, объекты, расположенные от аппарата в глубину в пределах от 3,25 до 48,5 *м*, будут восприни-

маться с хорошей передачей объема, а объекты, лежащие за пределами 48,5 м, будут постепенно как бы уплотняться.

Правда, переход от объемных деталей объекта к плоскостным не будет резким и глаз не сможет его уловить, так как изображения, расположенные по глубине объектов, будут иметь на снимках все меньшие и меньшие параллаксы и постепенно уплотняться в соответствии с увеличением расстояния от снятых объектов до аппарата.

В этом случае большое значение имеют монокулярные факторы. Так, воздушная дымка, перспективные искажения, перекрытие одних объектов другими и т. д., безусловно, ухудшают восприятие объема даже за пределами 48,75 м от аппарата. В то же время, если вместо фотобумаги в позитивном процессе взять пленку (а она обладает большей разрешающей способностью), то и предельная величина протяженности изображений воспринимаемых объектов возрастет. Поэтому при изготовлении стереоснимков предпочтение следует отдать позитивам на пленке, особенно для стереоснимков малого формата.

Следует отметить также, что ощущение пространства при восприятии стереоскопических изображений зависит не только от геометрических параметров стереосъемки, но и от других факторов, в частности, и от нашего представления о снятых объектах.

В ряде случаев рассматривание изображений одного и того же объекта, снятого с различными базисами (конечно, в известных пределах), не приведет к заметному искажению объема.

Это относится в основном к тем объектам на снимке, о соотношениях отдельных размеров которых мы имеем слабое представление (например, какое-нибудь незнакомое нам сооружение или машина), или к тем, которые могут иметь различные и многообразные формы (например, кусты, деревья и т. п.).

Если у стереофотолюбителя нет определенного практического навыка, можно снять один и тот же объект с несколькими базисами, отклоняясь в ту или другую сторону от рекомендуемого, а затем выбрать снимок, который с большей выразительностью подчеркивает необходимую деталь.

Вообще же, если желательно усилить восприятие третьего измерения при наблюдении стереоскопических изображений, а также при большом удалении основного объекта съемки от аппарата, съемочный базис необходимо увели-

чивать. Например, снимая при увеличенном базисе удаленный объект с высокой точки, можно получить очень эффектный стереоснимок. В то же время снимок того же объекта, снятый с базисом 63—65 мм, может получиться плоским и невыразительным.

При съемке с увеличенным базисом необходимо следить за тем, чтобы близко от аппарата не находилась какая-либо деталь объекта, так как на снимке эта деталь будет двоиться и нарушать стереоэффект.

При выборе оптимального базиса съемки, когда наряду с удаленными имеются и близко лежащие детали объекта, нужно руководствоваться вышеприведенными соображениями и указанным соотношением, чтобы устранить возможность двоения некоторых из них при рассматривании в стереоскопе.

Если увеличить съемочный базис нельзя (при съемке двухобъективным стереофотоаппаратом с постоянным базисом), для усиления восприятия пространственности нужно следить за тем, чтобы в поле зрения вблизи стереофотоаппарата находились какие-либо детали. В этом случае оценка расстояния и впечатление о пространственности воспроизводимого объекта будут усиливаться за счет сравнения удаленных деталей с близлежащими, а также за счет указанных выше монокулярных факторов.

Большое значение в таких снимках имеет так называемая кулиса переднего плана, т. е. съемка через арку моста или какую-либо другую деталь, находящуюся перед аппаратом. Кулисой переднего плана могут служить кроны деревьев или балкон здания, который, как бы отделяясь от основного воспроизводимого объекта, усилит глубинное восприятие снимка.

Объемно можно снимать самые различные объекты, уместающиеся в кадре и находящиеся на небольшом расстоянии от аппарата. Сюда могут быть отнесены предметы обстановки, различные натюрморты, цветы, статуи, машины, а также интерьеры и жанровые сцены.

При этом многие правила, выработанные для компоновки плоскостного кадра, могут иметь в стереоскопическом кадре второстепенное значение. Так, сюжеты, имеющие на одиночном снимке различные погрешности композиционного порядка, воспроизведенные стереоскопически, выглядят значительно лучше.

Так, в плоскостном снимке частичное перекрывание одного из основных объектов какой-либо другой деталью

(например, частичное загораживание снимаемой группы веткой вблизи находящегося дерева) портит весь снимок, в то время как в стереоснимке такой сюжет дает возможность ощутить распределение объектов по глубине и подчеркнуть пространственность снятого изображения.

Точно так же при стереосъемках не всегда следует опасаться тех деформаций, которые являются следствием малого расстояния переднего плана от аппарата (особенно при съемке архитектуры). Единственным условием съемки в этом случае является точно вертикальное положение пластинки или пленки в аппарате, а также расположение центров объективов на горизонтальной прямой.

Не всегда, однако, хорошо выглядят в стереоскопическом снимке портреты, снятые в движении, или групповые снимки. Хотя такие снимки будут хорошо передавать объем и пространство, лица снимающихся в ряде случаев будут иметь безжизненное выражение, и застывшие в момент движения фигуры будут напоминать манекены, специально расставленные для съемки.

Если при съемке удаленных объектов съемочный базис необходимо увеличивать, то при съемке небольших объектов, находящихся почти всегда на близком расстоянии от аппарата, съемочный базис приходится уменьшать. Так, для уменьшения искажения при съемке портретов крупным планом съемочный базис можно принять равным примерно половине нормального межзрачкового расстояния, т. е. 35—40 мм.

В противоположность портретным снимкам в плоскостной фотографии, которые, как правило, имеют размытый фон, в стереоскопическом портрете все снятое пространство должно быть резким. Для этого главный объект съемки следует композиционно увязать с другими объектами, включаемыми в кадр, во всяком случае с фоном.

Если снимаемый объект не имеет достаточной протяженности в глубину, то, для того чтобы подчеркнуть объем, прибегают к завышенному базису. Так, при изготовлении стереоплюстраций к первому тому «Большой медицинской энциклопедии» препарат головного мозга, расположенный при съемке на расстоянии 600—700 мм от аппарата, снимался с базисом в 40 мм вместо расчетного 12—14 мм, так как снимаемый объект имел весьма незначительную глубину.

При съемке мелких объектов приходится размещать их близко к аппарату. Естественно, что базис съемки в этом

случае должен значительно сократиться. В некоторых случаях съемочный базис, в зависимости от размеров снимаемого объекта и его расстояния до съемочного аппарата, может доходить до нескольких миллиметров и меньше. На рис. 45, например, представлена стереоскопическая фотография ручных часов и десятикопеечной монеты, снятая с базисом, примерно, в 7 мм. Несмотря на такой, казалось бы, маленький базис, изображение предметов в стереоскопе рассматривается с большой рельефностью.



Рис. 45. Стереоскопический снимок мелких предметов при малом базисе

Для обеспечения необходимой резкости всего снимаемого объекта, особенно при съемке с большого расстояния, объективы во время экспонирования сильно диафрагмируют. Надо сказать, что при съемке с очень малого расстояния получаются очень эффектные снимки. Стереосъемка мелких объектов может с успехом применяться как для научных, так и для любительских целей. При рассматривании в стереоскопе объемных снимков малых объектов (кристаллов, насекомых, растений, мелких, но сложных деталей отдельных механизмов и т. п.) создается впечатление объема и формы снимаемого объекта, близких к действительным.

Первые приспособления различной формы для стереосъемки были сконструированы в XIX веке, причем значительный вклад был сделан нашими отечественными изобретателями. Так, еще в 1854 г. мастер живописного цеха Александровский получил привилегию, т. е. авторское свидетельство, на изобретение фотографического аппарата, производящего съемку двойных изображений для стереоскопа, а в начале 90-х гг. XIX века Д. Езучевским была

изобретена стереоскопическая фотокамера для получения стереоснимков.

Изобретениями Александровского и Езучевского и других было положено начало развитию практической стереоскопии, получившей затем широкое распространение, особенно в фотографии.

Глубина резко изображаемого пространства. При съемке стереоскопических фотографий необходимо точно определять глубину резко изображаемого пространства. Как известно, рассматривая объекты в натуре, наблюдатель, переводя взгляд с переднего плана на задний, может в известных пределах почти с одинаковой степенью резкости воспринимать рассматриваемое пространство.

При съемке плоскостных фотографий с максимальной резкостью стараются воспроизвести главный объект, расположенный, как правило, на первом плане, не считаясь с потерей резкости на заднем, имеющем второстепенное значение. Такая разность степеней резкости помогает выделению главного объекта, на котором и сосредоточивается все внимание зрителя. Если же все разноудаленные объекты снять с одинаковой степенью резкости, то в ряде случаев зрителю трудно будет отделить один план от другого и разобраться в содержании сюжета. В стереоскопическом снимке изображение заднего плана, снятого с достаточной глубиной резкости, не мешает восприятию главного объекта, расположенного на переднем плане, так как при рассматривании в стереоскопе изображения предметов, расположенных на разных расстояниях от аппарата, не сливаются, а отделяются друг от друга, выявляя объем и пространственность снятого объекта. Вот почему при стереосъемках для получения необходимой резкости изображения следует диафрагмировать объективы.

Конечно, при съемке портретов или небольших предметов в отдельных случаях трудно обеспечить резкость изображения по всей глубине, но при съемке общих видов, например пейзажей, разноудаленные детали объекта, составляющие основной центр изображения, должны иметь достаточную глубину резкости.

Для обеспечения необходимой резкости изображения при стереосъемке многоплановых объектов установку объективов на резкость и их диафрагмирование следует производить по таблицам глубины резкости (см. табл.). Кроме того, при съемке нужно следить за тем, чтобы аппарат был установлен неподвижно. Как показывает практика, при

съемке с рук с выдержкой больше $\frac{1}{30}$ сек качество снимка по резкости редко бывает удовлетворительным. Снимать надо со штатива, однако легкие металлические штативы не обеспечивают полной неподвижности аппарата. Для устранения возможного сотрясения аппарата от действия спускового тросика необходимо, чтобы длина его была не менее 25 см.

Особо тщательно нужно определять экспозицию, так как для обеспечения достаточной глубины резкости съемка производится с малыми относительными отверстиями объектива, а это иногда приводит к недодержкам. В этом случае из-за плохой проработки деталей эффект глубины значительно снижается.

Ортостереоскопия — это возможность наблюдения в стереоскопе пространства, соответствующего действительному, без искажений, т. е. при воспроизведении пространства в стереоскопе изображения объектов на сетчатках глаз должны быть такими же, как при непосредственном наблюдении.

Если изображения в стереоскопе установить на таком же расстоянии, на каком при съемке находилась от объектива пленка, то наблюдатель в стереоскопе ощутит пространство, подобное действительному, так как ход лучей при съемке и при рассматривании будет одинаковым. Например, при съемке объективом с фокусным расстоянием 50 мм для воспроизведения того же хода лучей в стереоскопе изображения необходимо разместить на расстоянии 50 мм от глаз наблюдателя. Но на таком расстоянии снимок рассмотреть нельзя, так как человек не сможет на такое близкое расстояние аккомодировать свои глаза. Для правильного воспроизведения пространства перед глазами наблюдателя на расстоянии, равном фокусному расстоянию съемочного объектива, устанавливают оптические линзы, которые размещают так, чтобы каждый глаз мог видеть изображения на расстоянии 250 мм, т. е. на среднем расстоянии наилучшего зрения для нормальных глаз.

Введение линз в стереоскоп приводит к увеличению каждого изображения стереопары, вследствие чего лучи, идущие от различных точек каждого изображения, пойдут под большим углом, нежели от тех же точек линз при помещении снимков на расстоянии 250 мм от глаз наблюдателя.

Таким образом, если фокусное расстояние окуляра стереоскопа $f_{ок}$ приравнять к фокусному расстоянию съемоч-

Глубина резкости съемочного объектива с фокусным расстоянием 50 мм

Расстояние, на которое произведена наводка	Относительное отверстие объектива 1: ...									
	1,8		2		2,3		2,5		2,8	
	Границы резкости	Глу- бина рез- кости	Границы резкости	Глу- бина рез- кости	Границы резкости	Глу- бина рез- кости	Границы резкости	Глу- бина рез- кости	Границы резкости	Глу- бина рез- кости
0,75	0,73—0,76	0,03	0,73—0,76	0,03	0,73—0,77	0,04	0,73—0,77	0,04	0,73—0,77	0,04
1,00	0,98—1,02	0,04	0,97—1,03	0,06	0,97—1,03	0,06	0,97—1,03	0,06	0,97—1,04	0,07
1,25	1,21—1,29	0,08	1,21—1,29	0,08	1,21—1,30	0,09	1,20—1,30	0,10	1,20—1,31	0,11
1,50	1,45—1,55	0,10	1,44—1,56	0,12	1,44—1,57	0,13	1,43—1,58	0,15	1,42—1,59	0,17
1,75	1,68—1,82	0,14	1,67—1,83	0,16	1,66—1,85	0,19	1,66—1,86	0,20	1,71—1,87	0,16
2,00	1,91—2,10	0,19	1,90—2,11	0,21	1,89—2,13	0,24	1,88—2,14	0,26	1,83—2,16	0,33
2,50	2,36—2,66	0,30	2,35—2,68	0,33	2,33—2,70	0,37	2,35—2,72	0,37	2,29—2,75	0,46
3,00	2,80—3,23	0,43	2,78—3,26	0,48	2,75—3,30	0,55	2,73—3,33	0,60	2,70—3,37	0,67
4,00	3,65—4,42	0,77	3,62—4,47	0,85	3,57—4,55	0,98	3,54—4,61	1,07	3,49—4,69	1,20
5,00	4,47—5,67	1,20	4,42—5,76	1,34	4,34—5,90	1,56	4,29—5,99	1,70	4,22—6,14	1,92
7,50	6,36—9,14	2,78	6,26—9,36	3,10	6,11—9,73	3,62	5,01—9,98	3,97	5,87—10,40	4,53
10,00	8,07—13,14	5,07	7,91—13,62	5,71	7,66—14,40	6,74	7,51—14,98	7,47	7,30—15,93	8,63
	3,2		3,5		4		4,5		5,6	
0,76	0,73—0,77	0,04	0,73—0,78	0,05	0,72—0,78	0,06	0,72—0,78	0,06	0,71—0,79	0,08
1,00	0,96—1,04	0,08	0,96—1,05	0,09	0,95—1,05	0,10	0,95—1,06	0,11	0,93—1,08	0,15

1,25	1,19—1,32	0,13	1,18—1,32	0,14	1,81—1,34	0,16	1,17—1,35	0,18	1,15—1,37	0,22
1,50	1,41—1,60	0,19	1,41—1,61	0,20	1,39—1,63	0,24	1,38—1,64	0,26	1,35—1,68	0,33
1,75	1,63—1,89	0,26	1,62—1,90	0,28	1,60—1,93	0,33	1,59—1,95	0,36	1,55—2,01	0,46
2,00	1,85—2,18	0,33	1,83—2,20	0,37	1,81—2,23	0,42	1,79—2,27	0,48	1,75—2,34	0,59
2,50	2,26—2,79	0,53	2,24—2,82	0,58	2,91—2,88	0,67	2,18—2,93	0,75	2,11—3,06	0,95
3,00	2,67—3,43	0,76	2,64—3,48	0,84	2,59—3,56	0,97	2,55—3,65	1,10	2,46—3,85	1,39
4,00	3,42—4,81	1,39	3,38—4,91	1,53	3,31—5,07	1,76	3,24—5,25	2,01	3,09—5,68	2,59
5,00	4,13—6,34	2,21	4,05—6,51	2,46	3,96—6,80	2,84	3,86—7,12	3,26	3,65—7,95	4,30
7,50	5,69—11,01	5,32	5,56—11,51	5,95	5,37—12,20	6,83	5,19—13,60	8,41	4,83—16,98	12,15
10,00	6,87—17,40	10,53	6,82—18,71	11,89	6,54—21,37	14,83	6,27—24,92	18,65	5,75—39,33	33,58

	6,3		8		9		11		12,5	
0,75	0,71—0,80	0,09	0,70—0,81	0,11	0,69—0,82	0,13	0,68—0,84	0,16	0,67—0,85	0,18
1,00	0,93—1,09	0,16	0,91—1,11	0,20	0,90—1,13	0,23	0,88—1,17	0,29	0,86—1,19	0,33
1,25	1,14—1,39	0,25	1,11—1,43	0,32	1,09—1,46	0,37	1,06—1,53	0,47	1,04—1,57	0,53
1,50	1,34—1,71	0,37	1,30—1,78	0,48	1,28—1,82	0,54	1,23—1,92	0,69	1,21—1,98	0,77
1,75	1,53—2,04	0,51	1,48—2,14	0,66	1,45—2,21	0,76	1,40—2,36	0,96	1,37—2,45	1,08
2,00	1,72—2,39	0,67	1,66—2,53	0,87	1,62—2,62	1,00	1,55—2,84	1,29	1,51—2,98	1,47
2,50	2,07—3,15	1,08	1,98—3,39	1,41	1,93—3,57	1,64	1,83—3,98	2,15	1,78—4,32	2,54
3,00	2,41—3,99	1,58	2,28—4,39	2,11	2,03—4,91	2,88	2,08—5,43	3,35	2,02—5,95	3,93
4,00	3,01—6,00	2,99	2,82—6,94	4,12	2,71—7,72	5,01	2,51—9,99	7,48	2,42—11,90	9,48
5,00	3,54—8,58	5,04	3,28—10,66	7,38	3,14—12,63	9,49	2,87—20,12	17,25	1,75—29,75	27,00
7,50	4,62—20,19	15,57	4,19—37,30	33,11	3,95—82,83	78,88	3,55—∞	∞	3,36—∞	∞
10,00	5,46—62,26	56,80	4,86—∞	∞	4,55—∞	∞	4,02—∞	∞	3,78—∞	∞

ного объектива $f_{об}$, то линзы стереоскопа позволят сохранить тот же ход лучей от точек изображения, что и при съемке.

Для лучшего восприятия изображений в стереоскопе необходимо было бы предусмотреть переменный базис и фокусировку линз в соответствии с оптическими свойствами глаз наблюдателя. Правда, если в отдельных случаях для упрощения конструкции стереоскопа за счет некоторого увеличения диаметра линз можно пренебречь необходимостью изменения базиса окуляров стереоскопа, то их фокусировка совершенно необходима.

Практическая проверка ортостереоскопии показала, что при рассматривании изображений в стереоскопе мы почти всегда наблюдаем воспроизводимое пространство с искажением. В данном случае физиологическое восприятие стереоскопических изображений отличается от геометрических построений тех же изображений. Причины этого явления полностью еще не выяснены. Заметим, что при рассматривании объемных изображений в стереоскопе даже в случае равенства $f_{об}$ и $f_{ок}$ все пространство, воспроизводимое с помощью стереоскопа, как бы приближается к наблюдателю. В то же время построение изображения в стереоскопе по геометрическим данным (теоретически) соответствует увеличенному базису.

Из этих же соображений при съемке стереоскопических портретов для уменьшения искажений при рассматривании изображений в стереоскопе базис съемки желательно уменьшать до 35—40 мм.

Размеры стереокадра — одна из наиболее важных характеристик стереоскопической фотографии. Если размер рассчитан правильно, то при всех прочих равных условиях можно с той или иной полнотой и качеством воспроизвести снимаемый объект объемно.

Ранее мы отметили, что для воспроизведения глубины пространства или расстояния между предметами необходимо обеспечить при съемке определенную величину параллакса. Однако, если разрешающая способность системы, используемой при съемке, не обеспечивает необходимой величины параллакса, то некоторые точки, расположенные в природе одна за другой по глубине, на пленке могут иметь одинаковую величину параллакса. При восприятии такого изображения все точки, производящие его, будут находиться на одном расстоянии от зрителя, т. е. будут расположены для зрителей как бы в одной плоскости.

Явление, при котором отдельные объекты съемки хотя и разделяются по глубине, но в силу недостаточной разрешающей способности системы выглядят на изображении плоскими, как бы вырезанными из картона, называется кулисностью. Чтобы уменьшить кулисность, нужно применять фотоматериалы с большой разрешающей способностью. Чем выше разрешающая способность пленки, тем с большими подробностями можно воспроизвести объемные объекты. При определенной разрешающей способности пленки от размера кадра зависит возможность передать объект с большими подробностями. Большинство малоформатных стереоскопических аппаратов для 35-мм пленки используют кадры, уменьшенные против принятого размера кадра в плоскостной фотографии. Уменьшение размеров кадра позволяет на стандартном отрезке пленки (длиной 165 см), заряжаемом в обычную кассету, получить большее количество стереоскопических снимков, а также в некоторых случаях упростить конструкцию аппарата.

Однако уменьшение и без того столь небольшого по размерам кадра, каким является кадр на 35-мм пленке, приводит к снижению качества плоскостного изображения в части ухудшения разрешения мелких деталей снимка, что, в свою очередь, приводит к снижению возможностей стереоскопического восприятия.

Вот почему при выборе размеров стереокадра для 35-мм пленки не следует идти в сторону уменьшения его размеров. Только увеличение размеров кадра позволит полнее выявлять детали, структуру изображаемого объекта, усиливать реалистичность передачи.

Если при выборе размеров стереокадра исходить из физиологических особенностей нашего зрения, то выбор рационального размера стереокадра при сохранении качества воспроизводимого изображения далеко увел бы нас от возможности использования такого доступного фотоматериала, как 35-мм кинопленка.

Можно обосновать выбор необходимых размеров и формата стереокадра на базе 35-мм пленки, исходя из соображений развития малоформатной стереофотографии.

Так как стереоскопический снимок состоит из двух обычных плоскостных кадров, каждый специальный стереофотоаппарат оснащается двумя объективами. Наиболее удобным нужно считать расположение кадров стереопары по горизонтали рядом друг с другом, что значительно уп-

рощает схему и конструкцию аппарата. При таком расположении кадров их границы в предельном случае могут проходить по вертикали в центре между двумя объективами.

В этом случае ширина каждой половины обоих снимков при расположении их на светочувствительном материале вплотную друг к другу будет равняться половине расстояния между объективами, а горизонтальная сторона каждого кадра стереопары — всему расстоянию, которое носит название стереобазиса, или базиса съемки.

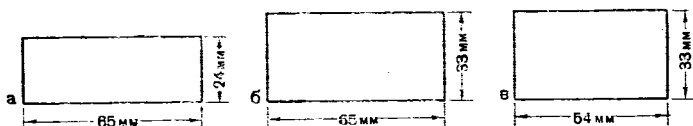


Рис. 46. Различные форматы кадров

Ранее было отмечено, что для съемки стереоскопических изображений можно ограничиться базисом, равным $63 \div 65$ мм.

Следовательно, у стереофотоаппаратов с таким базисом максимальный размер горизонтальной стороны кадра будет равняться так же $63 \div 65$ мм. Высота же кадра определяется размером используемого материала или, в данном случае, полезной шириной 35-мм пленки, применяемой для малоформатных камер.

В случае использования перфорированной пленки высота снимаемых стереокадров ограничивается 24 мм, тогда максимальный формат стереокадра будет равен $24 \times 63 - 65$ мм (рис. 46, а).

Такой размер кадра неприемлем из-за трудности компоновки в нем снимаемых объектов.

Как показали исследования, более выгодно в данном случае пользоваться неперфорированной 35-мм пленкой. Высота кадра в этом случае может быть увеличена до 33 мм и весь кадр может быть доведен до размера 33×65 мм. Этот размер кадра (для 35-мм пленки) и будет оптимальным по разрешению возможно большего количества деталей в снимке.

Однако и этот кадр с соотношением сторон 1:2 (рис. 46, б) не слишком удобен для компоновки большинства снимаемых объектов, кроме того, в этом случае кадры примыкают друг к другу, затрудняя их монтаж в рамках.

Если горизонтальный размер кадра сократить до 54 мм, то соотношение сторон кадра будет 1:1,67 (рис. 46, в), т. е. приблизится к так называемому золотому сечению (3:5) — размеру, наиболее удобному для компоновки большинства объектов. Кроме того, по соотношению сторон этот формат кадра не сильно отличается от общепринятого привычного для фотографов кадра (1:1,5), используемого в малоформатных фотоаппаратах.

Необходимо еще отметить, что применение перфорированной 35-мм пленки для обычной фотографии при сохранении в тех же пределах габаритов малоформатных фотоаппаратов значительно повысило бы качество снимаемых изображений, которые по площади (33 × 54 мм) почти в два раза больше кадра на перфорированной пленке (24 × 36 мм).

Как показывает практика, портретные, жанровые, а также пейзажные снимки при использовании указанного формата кадра на 35-мм перфорированной пленке позволяют настоятельно рекомендовать его не только для стереоскопической фотографии (это как будто бы не встречается возражений), но и для плоскостной фотографии. В случае применения такой пленки для обычной фотографии качество снимков из-за меньшего коэффициента увеличения при печати будет значительно выше.

Стереофотография и стереофотоаппаратура

Стереофотографию можно получить съемкой:

одним однообъективным фотоаппаратом при условии перестановки его на определенную величину для получения второго снимка;

двумя однообъективными фотоаппаратами, установленными на определенном расстоянии друг от друга;

одним специальным двухобъективным стереоскопическим фотоаппаратом;

одним однообъективным фотоаппаратом со специальной стереонасадкой для получения двух изображений.

Рассмотрим эти виды съемок.

Стереосъемка одним однообъективным аппаратом. В этом случае процесс получения стереопары может быть осуществлен только последовательно, поэтому снимать можно лишь неподвижные объекты.

Стереофотосъемку следует производить со штатива, оснащенного специальной площадкой для установки фотоаппа-

парата (рис. 47), позволяющей после съемки одного изображения передвинуть аппарат на некоторое расстояние по горизонтали параллельно снимаемому объекту для съемки второго.

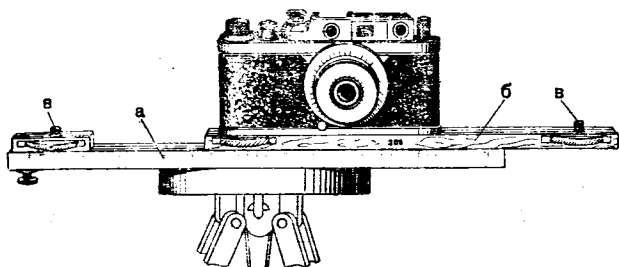


Рис. 47. Штативная площадка для стереофотосъемок обычным аппаратом

Буквой *a* на рисунке обозначена неподвижная планка с направляющими пазами, по которым передвигается подвижная планка *б*. На передней грани неподвижной планки нанесена шкала, по которой можно установить требуемый базис съемки.

Стандартный (конгрессный) штативный винт *e* служит для установки второго аппарата, если съемка производится двумя аппаратами одновременно. Несколько вариантов подобных площадок показано на рис. 48.

Можно производить стереосъемку с рук по способу «с ноги на ногу». В этом случае первый снимок делают с упора на левую ногу, а другой — с упора на правую. Это самый простой и легкий способ, который может опробовать любой фотолюбитель.

Правда, при недостаточном опыте изображе-

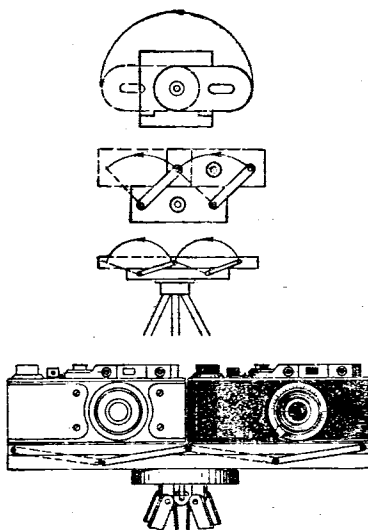


Рис. 48. Различные типы приспособлений для съемки одним или двумя обычными аппаратами

ния могут оказаться снятыми с увеличенным или уменьшенным базисом, с заметным вертикальным сдвигом или со значительным перекосом. Эти дефекты не всегда могут быть исправлены в процессе печати и обработки снятого материала, в результате ценный снимок может оказаться неудачным.

Для стереосъемок с рук наиболее пригодны малоформатные фотоаппараты благодаря их небольшому весу и удобству обращения с ними в процессе съемки.

При наличии съемочной площадки одним фотоаппаратом можно производить стереосъемки с различными базисами как на параллельных осях, так и с небольшой конвергенцией оптических осей. Последнее особенно важно при стереосъемках с большими базисами или при съемке объектов, находящихся на близких расстояниях, так как это позволяет выгоднее использовать площадь снимаемого кадра по сравнению со съемкой при этих же базисах на параллельных осях.

Съемку изображений стереопары при наличии одного аппарата можно производить в любом порядке, удобном для фотографа, поэтому для их опознания в негативе в процессе съемки полезно записать для памяти какие-либо признаки обоих изображений. Это поможет быстро и безошибочно произвести монтаж снимков для стереоскопа. Целесообразнее съемку стереопар производить всегда в определенном порядке (сначала, например, левое изображение, затем — правое).

Для стереоскопической съемки пригодны также аппараты, в которых используется роликовая фотопленка шириной 60 мм, например камера «Любитель».

Съемки этой камерой можно производить как на параллельных осях, так и с их конвергенцией. Для этого на матированную часть линзы наносят ориентир в виде вертикального штриха. При съемке первого изображения замечают тот объект или его часть, в плоскости которого осуществляется конвергенция, и перед съемкой второго изображения, после передвижения камеры на соответствующее расстояние, поворачивают ее до совпадения штриха с отмеченной частью объекта.

Стереосъемка двумя аппаратами. Стереосъемку движущихся объектов можно производить двумя обычными фотоаппаратами. Для этого их устанавливают на одной площадке и обеспечивают синхронную работу обоих аппаратов (рис. 49). Площадку надежно укрепляют на штативе,

обеспечивающем полную устойчивость и неподвижность аппаратов при съемке. Первым и обязательным требованием, предъявляемым к аппаратам, является их полное тождество по типу, конструкции и объективам.

Аппараты необходимо оснастить приспособлением, обеспечивающим синхронность действия их затворов при экспонировании. Таким приспособлением может быть клемма, в которую зажимают пусковые кнопки тросиков обоих аппаратов. Для установки аппаратов может быть из-

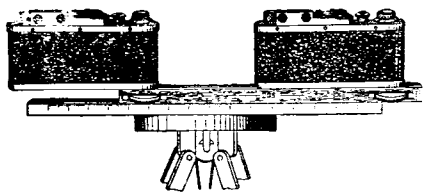


Рис. 49. Общий вид штативной площадки для стереосъемки двумя фотоаппаратами

готовлена площадка как с постоянным, так и с переменным базисом.

Следует принять во внимание, что минимально возможная величина базиса при использовании двух аппаратов обуславливается их внешними габаритами. Например, при съемке двумя аппаратами ФЭД, установленными рядом вплотную друг к другу, величина базиса составит 130 мм, т. е. вдвое больше нормального.

Путем применения различных насадок можно, конечно, уменьшить съемочный базис и при съемке вдвоенными аппаратами, однако это приведет к определенным неудобствам, резко снижающим преимущества этого способа перед другими.

Базисы порядка 130 мм и выше используют в основном для стереосъемки удаленных предметов.

Правда, если воспользоваться двумя фотоаппаратами «Чайка-II», в которых кадр вертикальный (24×18 мм) при горизонтальном положении аппарата и разместить эти аппараты вертикально, то мы получим стереопару из двух горизонтальных кадров 18×24 мм. При этом базис будет значительно меньше, в пределах около 70 мм.

Можно также смонтировать стереофотоаппарат из двух аппаратов «Киев-Вега». В журнале «Наука и жизнь» за 1968 г. № 4 (стр. 98) автором В. Нищенец приводится подробное описание аппарата «Вега-стерео», смонтированного из двух фотоаппаратов «Киев-Вега» или «Вега-2». Однако надо отметить, что из-за незначительных размеров стереокадра нельзя получить высокого качества стереоэффекта.

При съемках необходимо следить за одинаковой установкой объективов на резкость, за диафрагмой и скоростью затворов. При больших базисах стереосъемку целесообразно производить с конвергенцией оптических осей. При использовании установки из двух камер надо принять во внимание, что правое и левое изображения каждой стереопары будут размещены на разных фотопленках. Это обязывает к проведению процесса обработки и печати снятого материала таким образом, чтобы полученные снимки по всем фотографическим свойствам были одинаковыми.

Для быстрого опознавания правых и левых изображений на концах пленок перед съемкой полезно сделать одинаковые пометки.

Съемка стереофотоаппаратом. Основным преимуществом стереофотоаппарата является возможность одновременной фиксации двух изображений снимаемого объекта (стереопары) и возможность съемки объектов, находящихся в движении.

Во время съемки нужно следить за тем, чтобы изображения объектов, расположенных на различных расстояниях от аппарата, были в достаточной мере резкими, при этом резкость изображений не должна заметно убывать по полю кадра от центра к краю.

Поэтому при стереофотосъемках необходимо диафрагмировать объективы для увеличения глубины резко изображаемого пространства. Так как степень резкости переднего плана в стереоснимке должна быть высокой, необходимо обращать большое внимание на точность наводки объективов на резкость и установку нужной диафрагмы в зависимости от поставленной задачи.

Стереофотоаппараты оснащаются специально подобранными парами объективов с равными фокусными расстояниями, имеют спаренные механизмы для одновременной наводки объективов на резкость с общей шкалой для их диафрагмирования. Спаренные устройства затворов дают возможность одновременно и одинаково экспонировать оба снимка для получения одинаковых по плотности и контрасту изображений стереопары. Наличие постоянного базиса съемки в стереофотоаппарате обычно позволяет воспроизводить самые разнообразные объекты.

Однако для некоторых стереоснимков постоянный базис съемки неприемлем. Но так как при съемках жанровых сцен и пейзажей глубина снимаемого объекта чаще всего укладывается в пределах от 3 до 12—15 м, то можно счи-

тать базис, равный 63—65 мм, для любительских стереосъемок вполне достаточным.

В тех случаях, когда требуется съемка с увеличенным базисом (например, неподвижных удаленных объектов), нужно при съемке стереопары поочередно перекрывать объективы с передвижением всего аппарата перед второй экспозицией на величину, соответствующую увеличенному базису.

Если в стереофотоаппарате предусмотрено выдвижение объективного блока с таким расчетом, чтобы можно было производить макросъемку, то уменьшение базиса до требуемых пределов может производиться последовательной съемкой отдельных кадров с соответствующим передвижением всего аппарата перед второй экспозицией.

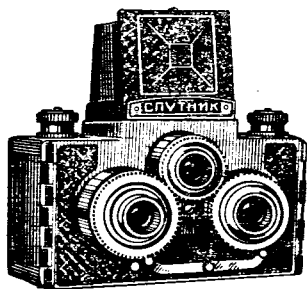


Рис. 50. Стереофотоаппарат «Спутник»

Выпускаемый промышленностью стереоскопический фотоаппарат «Спутник» (рис. 50) рассчитан на применение катушечной пленки шириной 6 см. Формат снимков 6×6 см.

На пленке каждой катушки может быть снято шесть стереопар. Корпус аппарата выполнен из пластмассы. Аппарат оснащен двумя объективами-анастигматами Т-35 с $f=75$ мм и относительными отверстиями 1:4. Базис объективов 63 мм. Наводка на резкость осуществляется фокусировкой визирного объектива, соединенного с обоими съемочными объективами зубчатой передачей. Визирный объектив находится в центре передней доски, между объективами, несколько выше их общей горизонтальной оси. Объективы имеют центральные затворы, работающие со скоростями $\frac{1}{15}$, $\frac{1}{30}$, $\frac{1}{60}$, $\frac{1}{125}$ сек и длительной выдержкой с одновременным действием для обоих объективов.

Стереофотоаппарат оснащен автоспуском, приводящим в действие затвор через 7—12 сек после его включения, а также синхроконтактом для съемок с импульсными лампами и лампами-вспышками.

Отсутствие в аппарате блокировки между механизмами затвора и перевода пленки на следующий кадр дает возможность получать одиночные снимки, прикрывая при этом второй объектив крышкой.

Все известные схемы двухобъективных стереофотоаппаратов позволяют получать на пленке не стереопару, а псевдопару, в которой изображения для левого и правого глаза перемещены, поэтому и при просмотре их в стереоскопе создается впечатление обратного рельефа. Чтобы избежать этого, полученные кадры нужно переставлять местами или применять сложную схему при их печатании на одну пленку, что в любительской практике сделать трудно. Делались попытки путем усложнения схемы аппарата получить на пленке не псевдопару, а стереопару.

В частности, в Германской Демократической Республике был разработан стереофотоаппарат «Belplasca» с размером кадра 24×30 мм (рис. 51), позволяющий получать на пленке стереопару. Правда, для осуществления съемки изображений с таким расположением кадров на пленке требовалось в механизме аппарата предусмотреть возможность перемещения пленки то на один, то на три кадра.

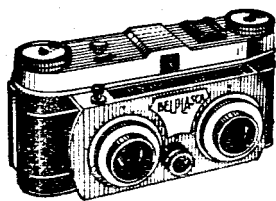


Рис. 51. Общий вид стереофотоаппарата «Belp-lasca»

В стереолаборатории НИКФИ по предложению Л. Акимкиной был разработан и изготовлен А. Соколовым экспериментальный образец стереофотоаппарата, рассчитанного на 35-мм пленку с форматом кадра 24×30 мм.

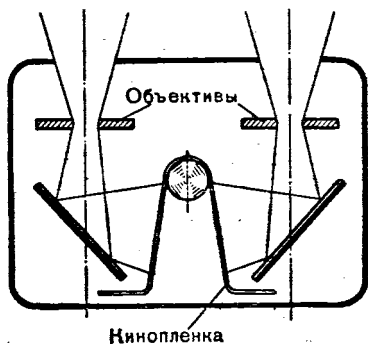


Рис. 52. Схема продвижения пленки в стереофотоаппарате НИКФИ с кадром 24×30 мм

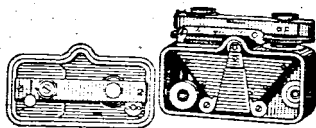
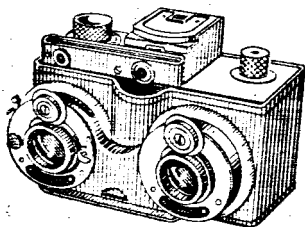


Рис. 53. Стереофотоаппарат НИКФИ

На рис. 52 показана схема продвижения пленки в аппарате. На рис. 53 — общий вид этого аппарата.

Как видно из рис. 52 и 53, использование зеркального отражения при прохождении пленки петлей обеспечивает возможность получения сразу в негативе стереоскопической пары изображений.

Изображения стереопары на пленке (рис. 54) располагаются последовательно через одно и через три изображения, что приводит к необходимости передвижения плен-

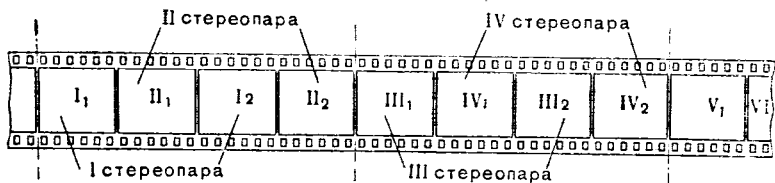


Рис. 54. Расположение стереокадров размером 24×30 мм на 35-мм пленке

ки в аппарате также сначала на один, а затем на три кадра.

В случае использования при съемке обращаемой пленки можно сразу после ее обработки, без разрезания и перестановки изображений стереопары, наблюдать в стереоскопе стереоскопический эффект.

Анализ кадров, полученных с помощью этого аппарата, показал, что существует возможность практического использования описанной схемы стереофотоаппарата, несмотря на ряд трудностей производственного и эксплуатационного характера (сложность в получении дублей, необязательность сохранения порядка кадров при съемке и при рассматривании, применение петли при зарядке и т. д.).

В стереолаборатории НИКФИ (Б. Иванов, А. Левингтон, А. Соколов) был также разработан и изготовлен экспериментальный образец стереофотоаппарата с применением 35-мм неперфорированной пленки (рис. 55). Применение неперфорированной пленки потребовало специального механизма для ее протягивания в аппарате.

Для протягивания неперфорированной пленки был разработан механизм, принципиально отличный от существующих (см. рис. 55). Основные части механизма расположены на правой стороне аппарата. На пути хода пленки предусмотрен свободно вращающийся резиновый валик 6,

на оси которого укреплена шестерня 5. Два оборота валика соответствуют протягиванию пленки на один шаг, т. е. на длину, необходимую для размещения одной стереопары.

Чтобы пленка на приемной катушке не раскручивалась, предусмотрено специальное стопорящее устройство, благодаря которому вращение ее возможно только в одну правую сторону.

Принцип работы транспортирующего механизма заключается в следующем.

При повороте головки перемотки 12 пленка, находя-

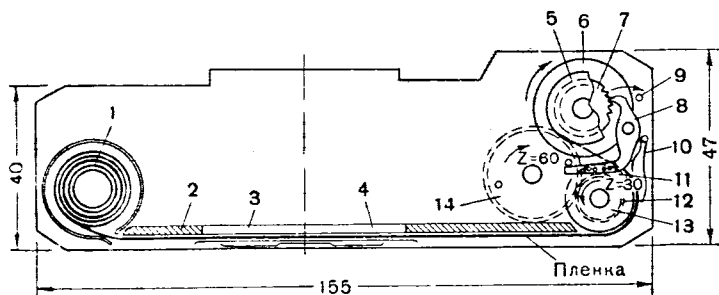


Рис. 55. Схема стереофотоаппарата НИКФИ для неперфорированной 35-мм пленки с кадром 33×54 мм

щаяся в стандартной кассете 1, проходит через фильмовый канал, представляющий собой две кадровые рамки 2 с двумя прижимными столиками 3 и 4, огибает мерный валик 6 и наматывается на приемную катушку 11. Так как шестерня 14 имеет вдвое большее количество зубцов, нежели шестерня 13, то при передвижении пленки на требуемую длину шестерня 14 поворачивается только один раз, что позволяет автоматизировать перезарядку пленки. Чтобы перемотать пленку для экспонирования следующего кадра, надо приподнять вверх левый конец рычага 8, который под действием пружины 10 поворачивается в крайнее левое положение и выходит из зацепления с храповым колесом 7. В крайнем правом положении рычаг 8 удерживается упором 9.

По своим размерам стереофотоаппарат для неперфорированной пленки можно отнести к малоформатным портативным аппаратам.

В изготовленном образце аппарата были использованы объективы с фокусным расстоянием 62 мм. Достаточно вы-

сокое качество изображений, снятых на 35-мм перфорированной пленке, подтвердило большую целесообразность использования этих объективов как для любительских, так и для специальных целей.

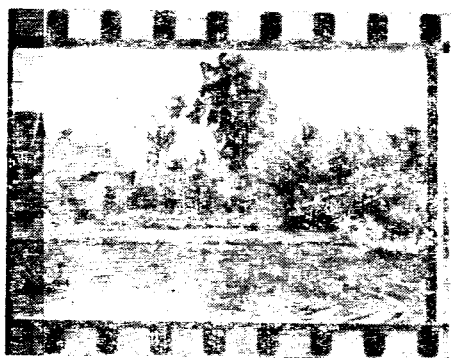


Рис. 56. Сравнение снимков одного и того же объекта, полученных на 35-мм перфорированной и неперфорированной пленках, отпечатанных с одним и тем же увеличением

На рис. 56 для сопоставления форматов кадра 24×36 и 32×54 мм представлены снимки одного и того же сюжета. Один из этих снимков сделан малоформатным аппаратом с использованием перфорированной 35-мм пленки,

другой — стереофотоаппаратом с использованием перфорированной 35-мм пленки. Оба снимка отпечатаны с одним увеличением.

Съемка со стереонасадкой. Для получения стереоскопических фотографий может быть использован обычный однообъективный фотоаппарат со специальной насадкой. В этом случае разделение изображений стереопары производится при помощи зеркал наружного серебрения или призм. Поэтому насадки бывают зеркальными и призматическими.

Зеркальные насадки применяются редко, так как они громоздки, серебрение наружного слоя зеркал непрочное,

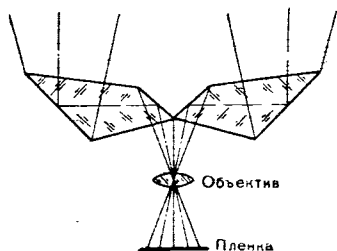


Рис. 57. Схема призматической насадки

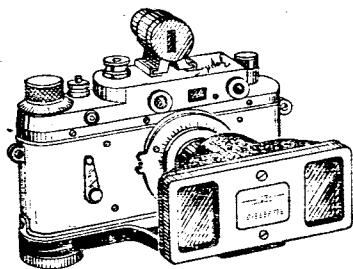


Рис. 58. Общий вид фотоаппарата с призматической насадкой

кроме того, требуют установки аппарата под углом 90° к снимаемому объекту или введения дополнительной отражающей поверхности и т. д.

В связи с этим наибольшее распространение получили призматические насадки (рис. 57). Они выпускались только к малоформатным аппаратам, например к аппаратам «Зоркий», «Киев» и др.

Стереонасадка к аппаратам («Зоркий», «Зоркий-2», «Зоркий-С» и «Зоркий-2С», рис. 58) предназначена к использованию при объективах «Индустар-22» ($f=5$ см, $1:3,5$) и «Индустар-50» ($f=5$ см, $1:3,5$), которыми оснащаются эти камеры.

Оптическая часть насадки состоит из двух одинаковых симметрично расположенных призм, при помощи которых на пленке воспроизводятся два изображения снимаемого объекта с двух точек зрения. Так как расстояние между центрами входных отверстий призм равно 65 мм, то и сте-

реобазис при съемках с этой насадкой равен 65 мм. Оба изображения, воспроизводимые при помощи стереонасадки, располагаются на пленке рядом в пределах поля нормального кадра 24×36 мм. Размер каждого изображения 23 мм по вертикали и 16 мм по горизонтали.

При стереосъемках камеру устанавливают длинной стороной по горизонтали. Стереонасадка (рис. 59) состоит из двух частей; корпуса с патрубком 1, крышки 2 и кронштейна 3. В корпусе размещены призмы. С передней стороны он закрыт крышкой с двумя отверстиями, являющи-

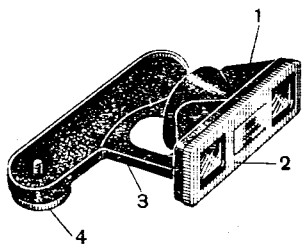


Рис. 59. Призматическая насадка

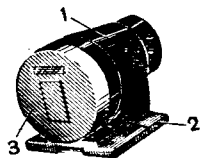


Рис. 60. Видоискатель для стереосъемок с призматической насадкой

мся входными окнами стереонасадки. Кронштейн 3 соединен с корпусом и имеет в основании винт 4 с резьбой для крепления насадки на фотоаппарате.

Для определения границ поля съемки, уменьшающегося при использовании стереонасадки, служит специальный видоискатель, укрепляемый в клемме фотоаппарата. Видоискатель состоит из объектива и окуляра, заключенных в трубку 1 (рис. 60), укрепленную на Т-образной подставке 2, служащей для крепления видоискателя в клемме на аппарате. Передняя часть трубки имеет щиток 3 с прямоугольным отверстием, ограничивающим поле кадра стереонасадки.

Наименьшее расстояние, с которого можно производить съемку фотоаппаратом «Зоркий» со стереонасадкой, — 1,5 м.

Стереонасадка к фотоаппарату «Киев» (рис. 61) состоит из двух блоков: блока объективов а и блока призм б. Эти блоки соединяются между собой специальным замком и защелкой в, находящейся в призматическом блоке. Блок объективов состоит из двух одинаковых объективов «Инду-

стар», расположенных рядом в общей оправе и предназначенных для съемки соответственно правого и левого изображений. Размер кадра 24×36 мм. На внешней стороне блока имеется приспособление для одновременной наводки на резкость по шкале расстояний обоих объективов (с дальномером аппарата блок не сопряжен). Диафрагмирование объективов в блоке производится одновременно вращением кольца по шкале диафрагм, также общей для обоих объективов.

В передней части блока можно устанавливать общий для двух объективов светофильтр. Призматический блок *б* состоит из корпуса с двумя призмами соответственно для каждого объектива. Расстояние между центрами входных граней, т. е. базис стереонасадок, равен 65 мм.

При съемках на малых расстояниях (менее 2 м) можно производить стереосъемки с одним блоком объективов, без призматического.

Размеры каждого из двух изображений, снятых на пленке, будут: 16 мм — по горизонтали и 24 мм — по вертикали.

При съемках с насадками время экспонирования следует увеличивать примерно в два раза по сравнению с обычной съемкой без насадок. Кроме того, при съемке фотоаппаратом со стереонасадкой площадь кадра и угол изображения объектива из-за размещения обоих изображений стереопары на площади одного кадра уменьшаются вдвое.

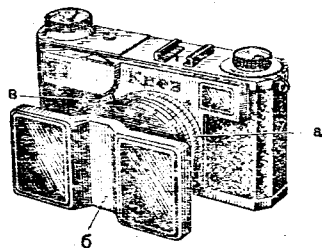


Рис. 61. Фотоаппарат «Киев» со стереонасадкой

Применение стереоскопии и стереоскопических приборов

В настоящее время стереоскопический метод, как метод зрительного восприятия трехмерности окружающих предметов и пространства, успешно применяется в различных областях науки, техники, искусства; в частности в биологии, медицине, минералогии, кристаллографии и кристаллофизике, астрономии, исследовании космоса и космических тел, военном деле, аэрофотосъемке, строительстве.

архитектуре, скульптуре, научной и любительской фотографии и кинематографии.

В биологии, гистологии, физиологии для рассматривания отдельных клеток и их частей, а также поверхности или срезов животных и растительных тканей, особенно при исследовании патолого-анатомических явлений, очень часто применяется бинокулярный микроскоп. Он представляет собой микроскоп с двумя окулярами, дающими возможность рассматривать изображение объекта сразу обоими глазами, что очень важно, так как позволяет уловить более тонкие оттенки в яркости и цвете и в то же время менее утомительно. Самое главное то, что рассматривание обоими глазами делает восприятие объемным, отчетливым, с хорошо видимой формой объекта.

Особенно ценен бинокулярный микроскоп в кристаллографии, так как позволяет следить за изменением формы кристаллов в процессе их роста.

Уже давно для относительно точного измерения длин или сравнения отрезков применяют обычный монокулярный компаратор. В недавнее время получил распространение более совершенный прибор — стереокомпаратор. Он предназначен для сравнения почти одинаковых изображений с целью выяснения имеющихся в них различий, например для сравнения двух снимков с одного и того же участка звездного неба.

Наблюдение в стереокомпараторе производится обоими глазами, причем каждый глаз рассматривает только одну фотографическую пластинку с изображением. Пластинки устанавливают таким образом, чтобы изображения несмещившихся объектов совпали и определили некоторую плоскость. Тогда смещившиеся объекты, занимающие разное положение на обеих пластинках, окажутся выступающими вперед или назад по сравнению с основной плоскостью.

Стереокомпаратор позволяет астрономам находить малые планеты, переменные звезды, уточнять траектории движения небесных тел. На стереоскопических снимках неба, сделанных через спальный телескоп, планеты кажутся висящими на фоне звездного неба; и что особенно интересно: при этом хорошо видна их шарообразная форма.

Громадные расстояния от Земли до планет и звездных систем требуют съемки с большим стереоскопическим базисом. За такой базис берется перемещение Земли в пространстве за определенный промежуток времени. Напри-

мер, при фотографировании Сатурна в качестве базиса был взят суточный путь Земли, равный 1 700 000 км.

Стереоскопатор приносит большую пользу при расшифровке аэрофотоснимков. Например, во время Отечественной войны при помощи стереоскопатора обнаруживали замаскированные огневые точки врага, а в мирное время его применяют в картографии.

Доктору технических наук Ф. В. Дробышеву присуждена Ленинская премия в области науки и техники 1970 года за разработку и внедрение универсальных стереофототриггерных приборов высокого класса точности для создания по аэрофотосъемкам топографических карт.

Объемное видение помогло создать специальный прибор — стереоскопический дальномер. Это длинная двойная труба; в фокальных плоскостях объективов помещены стекла, снабженные рядом небольших меток клинообразной формы, над которыми поставлены числа. Эти метки представляют два стереоскопических изображения значков, расположенных в пространстве на различных расстояниях от наблюдающего. Когда наблюдающий обоими глазами смотрит через прибор на местность, он видит уходящий вдаль ряд значков, висящих над местностью. Замечая, между какими значками лежит или с каким значком совпадает наблюдаемый объект, сразу же определяют расстояние до него. Определение расстояния тем точнее, чем больше базис, т. е. расстояние между объективами на концах трубы. В современных дальномерах базис достигает нескольких метров.

Стереоскопический дальномер широко применяют при топографических съемках в труднодоступных местностях, при проведении стрельб морской артиллерией и для решения других задач.

Неоценимые услуги стереоскопия оказывает строителям. Очень часто, для того чтобы представить себе какое-либо проектируемое здание или сооружение, изготавливают уменьшенные макеты или модели зданий. Так, например, были созданы макеты Московского метрополитена.

Большой наглядности можно достигнуть, если чертежи и рисунки проектируемых или реконструируемых строительных сооружений изготавливать и показывать стереоскопически. В некоторых случаях они могут заменить дорогостоящие и трудновыполнимые модели или макеты.

Чертить и рисовать стереоскопические изображения простых геометрических фигур нетрудно. Однако изготов-

лять стереоскопические изображения сложных сооружений трудно. Для облегчения этой работы были разработаны и построены специальные приборы и аппараты. Проф. С. С. Брюханенко и научные сотрудники П. Д. Скворцов и Р. В. Пуринская построили оригинальную аппаратуру для рисования и вычерчивания стереоскопических изображений сложных объектов. Ими разработана методика выполнения аппаратами чертежей и рисунков. Изготовленный таким способом чертеж или рисунок наглядно и правильно передает пространственные формы и натуральные размеры изучаемого объекта.

Оригинальный прибор для рисования стереопар был разработан в 1941 г. по предложению Д. Шварцмана. При помощи этого прибора можно через копировальную бумагу рисовать сразу оба стереоскопических изображения. Необходимые параллаксы создаются соответствующим смещением нижнего рисунка по отношению к верхнему.

Д. Шварцманом предложена также другая конструкция стереографа, позволяющая создавать два стереоскопических изображения, расположенных рядом. При этом имеется возможность проверять стереоскопический эффект в процессе работы над рисунком стереопары.

Рисованные стереоскопические изображения можно получить также на стереопантографе, разработанном в НИКФИ Н. А. Овсянниковой и А. Г. Болтянским.

Стереоскопические чертежи найдут более широкое применение при проектировании зданий и других архитектурных сооружений и памятников. При помощи таких стереоскопических чертежей и рисунков архитектор, скульптор, строитель могут увидеть в объемной форме задуманные ими сооружения еще до их постройки. Так, скульптор С. М. Орлов, автор проекта памятника основателю Москвы Юрию Долгорукому, подчеркивал: «В моей скульптурной мастерской сделаны первые шаги к практическому применению стереофотографии; производится поэтапно хронометражные стереоскопические съемки работ по созданию скульптуры Юрия Долгорукого, позволяющие определить не только общее состояние скульптуры, но увидеть и сравнить то, что было задумано, сделано вначале, с тем, что имеется сегодня» *.

* А. К. Клементьев, Стереоскопия в архитектуре и строительстве, Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1952, стр. 27.

Вся работа по систематической стереофото съемке при создании указанного памятника производилась одним из энтузиастов использования стереоскопии в различных областях науки и техники — инженером А. К. Клементьевым.

Для целей реконструкции исторических памятников были выполнены стереоскопические перспективы, например, церкви Николы на Липне, построенной еще в 1292 г. и разрушенной фашистскими захватчиками в Отечественную войну 1941—1945 гг. По стереоскопическим перспективам можно было представить себе архитектурный памятник в его прежнем виде.

Для рассматривания полученных графическим способом стереоскопических изображений разработаны конструкции специальных зеркальных стереоскопов.

Для рассматривания их используют также и анаглифический метод стереоскопии (см. стр. 33).

По анаглифическому методу были изготовлены наглядные пособия — альбомы и иллюстрации к учебникам, например «Альбом стереоизображений по начертательной геометрии» М. Шестакова, иллюстрации к монографии акад. А. Шубникова, проф. Г. Бокий и проф. Е. Флинта «Основы кристаллографии», к монографии проф. Н. Валюса «Стереоскопия», а также к учебнику Пала «Начертательная геометрия с анаглифными иллюстрациями» (издан на русском языке в Венгрии в 1966 г.).

Известно, что обмеры и измерения различных объектов отнимают много времени и средств, точность же обмеров не всегда достаточна. Особенно трудно производить обмеры высоких сооружений или объектов, находящихся во время измерения в движении. В этих случаях применение для измерений стереоскопических фотографий незаменимо.

Делается это так.

Исследуемый объект фотографируют с двух точек зрения. Зная заранее съемочный базис, фокусное расстояние съемочных объективов, направление оптических осей объективов съемочного аппарата, измеряют полученные фотографии, например, на стереокомпараторе и по полученным данным с большой точностью определяют пространственное положение снимаемого объекта.

Измерение объектов при помощи стереоскопии получило применение в архитектуре. Еще в 1931 г. П. Токарский описал способ использования в архитектуре наземной стереофото метрии и определения размеров объек-

тов по двум стереоскопическим снимкам. В настоящее время методы наземной стереофотограмметрии широко применяются при измерении различных объектов. Так, А. Валуев при помощи измерительной фотографии разрешил задачу относительно точного обмера деталей на башнях Московского Кремля. Ему удалось произвести измерение объектов, находящихся на сравнительно большой высоте, не устанавливая лесов и иных приспособлений.

В тех случаях, когда необходимо измерить то или иное строительное сооружение, изучаемый объект фотографируют с двух точек зрения при помощи обычного фотоаппарата с дополнительными приспособлениями или при помощи специального аппарата — фототеодолита. По полученным двум снимкам, измерив их соответствующим образом на стереокомпараторе, вычисляют величины параллаксов, а по ним находят все три координаты для любой точки сфотографированного объекта.

Рассмотрим более подробно, каким образом по двум изображениям одного и того же объекта с двух разных точек зрения можно получить пространственные координаты любой точки исследуемого объекта.

Как уже говорилось ранее, исследуемый объект фотографируют с двух различных точек зрения, отстоящих друг от друга на определенном расстоянии, или иначе, с определенным базисом.

Большинством при съемке фасадов зданий, котлованов, откосов и других открытых для наблюдения сложных конструкций отношение базиса, т. е. отношение расстояния между съемочными объективами к расстоянию до снимаемого объекта, можно принимать не $1:50$, как это рекомендуется в любительской практике, а в пределах от $1:5$ до $1:10$. Последнее связано с тем, что в данном случае не имеет значения точность восприятия пространства, а требуется лишь определение размеров отдельных деталей. Однако необходимо учитывать, что при подобной съемке не всегда можно обеспечить желаемый базис.

В принципе для измерительных целей стереоскопическую съемку можно производить как с параллельными, так и с конвергируемыми осями фотоаппарата или фототеодолита. Однако предпочтение обычно отдают съемке с параллельными осями аппаратов.

Каковы же основные принципы определения пространственных координат любой точки объекта по двум снимкам?

Рассмотрим схему восстановления пространственного расположения исследуемых точек по двум снимкам (рис. 62).

На рисунке приняты следующие обозначения: N — исследуемая точка; B_c — базис съемки; O_a и O_b — центры объективов при съемке; Z — расстояние от центра объек-

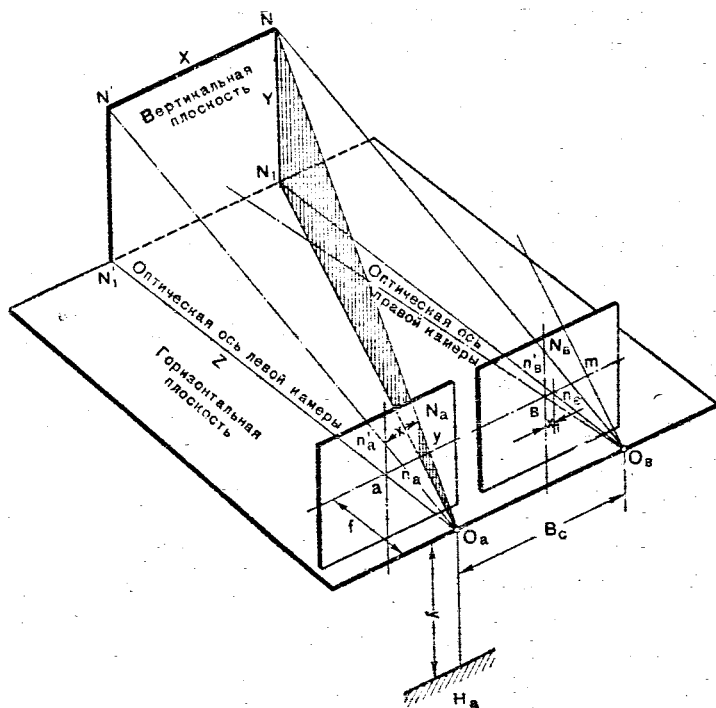


Рис. 62. Схема воспроизведения пространственного расположения исследуемых точек по двум снимкам

тива O_a до вертикальной плоскости, проходящей параллельно линии базиса через точку N ; X — расстояние от точки N до точки N' вертикальной плоскости, проходящей через оптическую ось левой камеры; Y — расстояние от точки N до точки N_1 горизонтальной плоскости, проходящей через оптическую ось левой камеры.

Для удобства вычислений за начало всех геометрических построений примем центр объектива камеры, расположенной при съемке слева и обозначенной O_a .

Для определения положения исследуемой точки в пространстве вычисляют ее координаты (X , Y и Z), т. е. определяют положение точки N относительно точки O_a .

Для этого через центр объектива O_b проводят вспомогательную линию, параллельную горизонтальной проекции $O_a N_1$.

Из подобия треугольников $O_a N_1 O_b$ и $n_b O_b m$ устанавливают следующее отношение:

$$Z = \frac{B_c}{a} f,$$

где: f — фокусное расстояние фототеодолита; a — горизонтальный параллакс точки N , равный разности горизонтальных координат: $X - X_1$.

По этой формуле определяют положение любой точки исследуемого объекта по отношению к точке O_a , т. е. первую пространственную координату точки N .

Из подобия треугольников $N' O_a N_1$ и $a O_a n_a$ определяют, что

$$X = \frac{Z}{f} x,$$

где X — горизонтальная координата изображения точки на левом снимке.

Подставив в полученное выражение величину Z , получим:

$$X = \frac{B_c}{a} x.$$

По этой формуле определяют вторую пространственную координату точки N .

Из подобия треугольников $N' O_a N'_1$ и $a O_a n'_a$ находим, что

$$Y = \frac{Z}{f} y,$$

где y — вертикальная координата точки N на левом снимке.

Подставив в эту формулу значение Z , получим:

$$Y = \frac{B_c}{a} y.$$

По этой формуле определим третью пространственную координату точки N . Это и будет положение точки по вертикали, т. е. по высоте.

Таким образом, зная величину базиса, направление осей фототеодолита, фокусное расстояние камеры и результаты измерения снимков на стереокомпараторе, можно определить пространственные координаты любой точки исследуемого объекта.

С помощью приведенной выше формулы можно определить отметки точек измеренного объекта:

$$H_N = H_a + h \pm y,$$

где H_a — отметка земли на левом конце базиса; h — высота инструмента.

Таким образом, с помощью стереоскопических измерений можно решать относительно трудные задачи, возникающие при обмерах зданий, строительных сооружений и при их строительстве.

Большое значение приобретает стереофотография и при археологических исследованиях. Многие ученые при снаряжении экспедиций оснащают ее и стереоскопическими аппаратами.

Замечательные результаты экспедиции проф. С. Толстова, изучавшей памятники культуры Древнего Хорезма — одной из старейших цивилизаций на территории нашей страны, — в полной мере подтверждают сказанное. Наряду с многочисленными зарисовками и обмерными чертежами было сделано много стереоскопических снимков, позволивших воспроизвести с большой точностью исследуемые памятники.

Стереоскопические снимки, сделанные доктором исторических наук Б. Пиотровским и архитектором Н. Токарским во время их экспедиции по изучению памятников Урарту на территории Закавказья, позволили разрешить труднейшую задачу по расшифровке загадочной клинообразной надписи, рассказывающей о походах и завоеваниях урартов.

Измерение объектов при помощи стереоскопии получило в архитектуре большое применение.

Измерительная стереоскопия позволяет получить данные по тому или иному сооружению в тех случаях, когда производство обмеров каким-либо другими способами вообще невозможно. А. Клементьев в книге «Стереоскопия в

архитектуре и строительстве» приводит пример такого использования стереоскопических измерений. Так были получены данные обмера Мостовой башни (архитектурного памятника XVII века, расположенного в поселке Измайлово, Москва). Обмеры эти были произведены инженерами А. Валуевым и И. Заптовым и архитектором В. Комаровым в неблагоприятных условиях, при -30°C , в очень короткий срок, в то время как работы вручную в таких условиях вообще были бы невозможны.

С течением времени стереоскопия займет значительное место в музейном деле для широкого ознакомления с образцами зодчества прошлых лет, а также с сооружениями современной архитектуры.

С помощью стереофотографии можно запечатлеть в объеме этапы строительства наиболее характерных сооружений, которые в дальнейшем, по окончании стройки, позволят детально изучить их опыт, достижения или недостатки.

В процессе возведения сложных сооружений целесообразно создавать стереофототеку, при помощи которой можно контролировать строительство, а также изучать отдельные его этапы.

Стереофотография может иметь большое значение для сельского хозяйства. При помощи стереоскопической фотографии, выполненной в цвете, можно наглядно и быстро проводить работы по улучшению породы и увеличению продуктивности скота. Для этого необходимо уметь быстро и с достаточной точностью получать числовые характеристики экстерьера животного как в период его развития, так и в период, когда оно уже сформировалось. Часто для получения таких характеристик зоотехник пользуется мерной палкой, циркулем и гибкой лентой-рулеткой. Однако числовые характеристики, полученные при помощи таких «инструментов», не всегда точны и отнимают много времени.

Применяется для обмеров и обычная фотография. В этом случае фотографирование изучаемого объекта производят одновременно с масштабной линейкой.

В Сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева под руководством проф. П. Орлова был разработан способ производства необходимых измерений с использованием стереофотографии. Такой способ измерительной стереофотографии прост и доступен не только специалистам-стереофотограмметристам, но при некоторой предва-

рительной подготовке и зоотехникам и другим специалистам по сельскому хозяйству.

Так, при фотографировании изучаемых объектов кандидат сельскохозяйственных наук О. Калошина использовала двухобъективный аппарат, рассчитанный на применение стеклянных пластинок размером $17,2 \times 8,5$ см. Базис съемки (расстояние между объективами) в этом аппарате был равен 79,9 мм.

Для использования данного аппарата в измерительных целях в нем была сделана координатная сетка (элементы внутреннего ориентирования аппарата). При этом расстояние между вертикальными метками было установлено равным расстоянию между центрами объективов при параллельности их оптических осей.

Разработанный способ измерения с использованием стереоскопии позволяет садоводам получать необходимые сведения о размерах деревьев между труднодоступными точками кроны, а также получать данные о диаметре стволов деревьев в любом сечении, определять площадь кроны и др.

Применение подобного способа облегчает труд, а также позволяет получать в сравнительно более короткий срок точные данные.

Так, например, при помощи полученных стереофотографий было установлено влияние скорости пахоты на структуру пласта, его глубину и размер комьев земли, что очень важно для выяснения работы предплужника.

С большим успехом проф. П. Орлов применил наземную стереофотограмметрию при производстве геологических съемок, при исследовании размеров и движений оползней и других подвижных объектов.

Большая работа была проведена Ю. Бутовым для создания наглядных стереоскопических пособий по эталонированию продукции сельского хозяйства, пушнины и т. д.

Успешно применяется стереоскопия и в телевидении. С первых дней возникновения телевидения усилия изобретателей были направлены на осуществление цветной и стереоскопической телевизионной передачи изображений. Еще в 1928 г. Дж.-М. Берд производил эксперименты по цветному и стереоскопическому телевидению. Несколько позже последовало экспериментальное демонстрирование одноцветного телевидения со стереоскопическим эффектом.

Известны и другие попытки осуществить объемное телевидение. В большинстве случаев для сепарации изображений были использованы обычные стереоскопы.

Использование стереоскопа для сепарации телевизионных изображений приводило к ограничению распространения объемного телевидения, так как зритель вынужден был располагаться очень близко к прибору в довольно неудобной позе.

Для осуществления объемного телевидения при появлении высококачественных электронных систем сначала также применялся стереоскоп, для чего на передатчике устанавливалось оптическое устройство, которое фокусировало на одной половине мозаики передающей трубки изображение, соответствующее точке зрения левого глаза, а на другой — правого.

Известна и более сложная система объемного телевидения, которая освобождает зрителя от неподвижного положения у телевизионного экрана. В этой системе предусмотрены две отдельные трубки. При этом наружная поверхность каждой трубки покрыта специальным составом, который поляризует или, в данном случае, пропускает световые колебания только в одной плоскости. Плоскости поляризации трубок взаимно перпендикулярны. На полупрозрачном экране, который не деполяризует свет, изображения от двух трубок совмещаются.

Зритель, снабженный очками с поляризационными светофильтрами, ориентированными во взаимно перпендикулярных направлениях плоскостей поляризации, наблюдает объемное изображение на телеэкране.

Замена неподвижно установленного стереоскопа очками предоставляет каждому зрителю достаточную свободу перемещения. При такой системе объемного телевидения наблюдать стереоскопический эффект может и группа зрителей.

Наиболее интересным является осуществление объемного телевидения с помощью линзового, так называемого ячейкового или мозаичного раstra. В этом случае группа зрителей может одновременно наблюдать объемное телевидение без применения каких-либо индивидуальных приспособлений.

Нет сомнения, что дальнейшие усовершенствования в области телевизионной техники позволят в значительной степени усовершенствовать телевидение и сделать его не только цветным, но и объемным.

Стереоскопия широко и очень эффективно применяется в той интенсивной и исключительно продуктивной деятельности, которая ведется с целью осуществления полета человека на Луну и на планеты солнечной системы.

На космических станциях, используемых для изучения Луны, устанавливают телевизионные камеры, предназначенные для получения и передачи на Землю стереоскопических снимков — изображений отдельных участков поверхности Луны. Эти камеры расположены таким образом, что после посадки космической станции на поверхность Луны и соответствующей установки ее они могут проводить круговой обзор в горизонтальной плоскости и в пределах угла 65° в вертикальной плоскости. Каждая камера снабжена тремя сменными объективами: широкоугольным, телеобъективом и объективом с высокой разрешающей способностью. В том случае, когда объективы телевизионной камеры сфокусированы на предмете, отстоящем от них на расстоянии 4 м, они обеспечивают разрешающую способность соответственно 4,1 и 0,2 мм. Этими камерами можно получать достаточно детальные стереоскопические изображения предметов, а также проводить и другие исследования по заданной программе или же по командам с Земли. Телевизионные камеры установлены неподвижно, их объективы направлены вверх относительно основания станции. Над объективом каждой камеры установлено зеркало, наклоненное под определенным углом к вертикали. Через это зеркало изображение участка поверхности Луны отразится на оптическую систему телекамеры. Изменение угла установки зеркал позволяет проводить дополнительный обзор и осуществлять стереоскопический режим работы телекамер.

Управление установкой зеркал, углами наклона их, сменой объективов и изменением режимов работы телевизионных камер осуществляется командной радиосистемой.

Телевизионные камеры могут включаться задолго до посадки космического корабля на поверхность Луны. Непосредственно после включения камер площадь обзора может составлять $200 \times 200 \text{ км}^2$, а разрешающая способность — 0,33 км.

Стереоскопические снимки поверхности Луны и других планет можно производить и с относительно большого расстояния. Кроме этого особое значение приобретают стереоскопические методы в медицине, особенно в рентгенодиагностике заболеваний внутренних органов, связан-

ных с нарушением кровообращения, образованием опухолей или при внутренних переломах.

В самом общем случае стереоскопические наблюдения можно проводить с помощью различных видов излучения, в том числе и с невидимыми человеческим глазом инфракрасными, ультрафиолетовыми, рентгеновскими, гамма-лучами или потоками электронов.

Из этих невидимых излучений более всего используются рентгеновские лучи. Чтобы рентгеновские лучи стали видимыми, они должны быть зафиксированы на фотопленке или же их нужно направить на флюоресцирующую поверхность. Результаты диагностического исследования больного в рентгеновских лучах резко улучшаются, если применять стереоскопический просмотр рентгеновских снимков. Важным следствием такого просмотра является уменьшение времени, затрачиваемого на диагностирование, а также повышение точности диагноза.

Рассматривание стереопар изображений, полученных в рентгеновских лучах, позволяет пространственно локализовать переломы костей, местонахождение и пути осколков снарядов и пуль у раненых, определить степень трудности их удаления.

У пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, например при пороке сердца, установить положение одних кровеносных сосудов относительно других, а также изменения в них.

Наблюдение объемных рентгеновских изображений может вестись как на флюоресцирующем экране (с применением очков), так и путем рассматривания рентгеновских стереоснимков в стереоскопе. Получать рентгеновские стереограммы можно и при наличии обычной рентгеноаппаратуры, для чего нужно передвигать источник рентгеновских лучей — рентгеновскую трубку — из одного положения в другое. При этом каждый рентгеновский снимок даст теневую проекцию, немного отличную от теневой проекции второго снимка. Фотографирование рентгеновского изображения при этом можно производить, устанавливая рентгенопленку или фотопластины на место флюоресцирующего рентгеновского экрана, который светится в тех местах, куда попадает рентгеновское излучение. Вместо перемещающихся рентгеновской трубки или двух таких трубок можно было применять трубку с двумя антикатадами (из которых выходят рентгеновские лучи), расположенными примерно на таком же расстоянии друг от друга, как

глаза человека. Не обязательно, чтобы рентгеновские лучи излучались непрерывно с целью уменьшения получаемой дозы, их излучение может происходить импульсами, например по 50 импульсов в секунду, что соответствует стандартной частоте промышленного переменного тока.

Дозу рентгеновского излучения можно понизить еще более (в несколько тысяч раз), а яркость изображений, полученных в рентгеновских лучах повысить во много раз, если пользоваться электронно-оптическим преобразователем. Кроме того, применение этого прибора позволит значительно повысить резкость рассматриваемого изображения.

На рис. 63 приведена схема электронно-оптического преобразователя для визуального наблюдения изображений, получаемых в пучке рентгеновских лучей небольшой интенсивности, вызывающих свечение входного люминесцирующего экрана.

Увеличение яркости изображения на выходном экране достигается сообщением электронам, выбитым из фотокатода, дополнительной энергии ускоряющим электрическим полем и сокращением линейного размера изображения в n раз, что, в свою очередь, приводит к увеличению яркости изображения в n^2 раз. Изображение на экране наблюдается при помощи соответствующего окуляра O . Для защиты прибора от рассеянного видимого излучения перед электронно-оптическим преобразователем устанавливают пластинчатый светофильтр из темного органического стекла или другого небьющегося материала, непрозрачного для видимых и тепловых лучей.

Если рентгеновские снимки, составляющие стереопару, рассматривать одновременно через электронно-оптические преобразователи для правого и левого глаза, получится объемное изображение рассматриваемого объекта.

Основным преимуществом таких приборов является получение очень высокой четкости и резкости видимого изображения при уровнях облучения исследуемого объек-

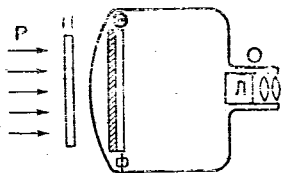


Рис. 63. Схема устройства электронно-оптического преобразователя рентгеновского излучения: P — рентгеновское излучение; $Э$ — входной люминесцирующий экран; $Ф$ — фотокатод, служащий источником электронов под действием падающего на него излучения; $Л$ — светофильтр из непрозрачного для видимого излучения материала; $Л$ — выходной люминесцирующий экран; O — окуляр

та в тысячи раз более низких, чем на рентгеновских установках. Такие приборы применяются в медицинской практике, особенно при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний. Известны успешные применения стереоскопии в Украинском научно-исследовательском экспериментальном институте глазных болезней и тканевой терапии имени академика В. Филатова. В этом институте Е. Шаером были произведены эксперименты и осуществлены расчеты, по которым можно в каждом отдельном случае получить исходные данные для того базиса стереоскопической съемки, который соответствует желаемым или нужным размерам изображения для установления диагноза при заболевании глаз или же при лечении глазных болезней тогда, когда бывает очень нужно следить за различными новообразованиями, обнаружить и исследовать их динамику.

Другие известные способы наблюдения менее эффективны для этих целей, чем стереоскопические исследования.

Производя последовательно стереоскопические снимки большого глаза или частей его, можно с большой степенью точности проследить за динамикой исследуемого явления, производя снимки, дающие представление об изменениях в объекте, происходящих во всех трех измерениях.

Возможности стереофотографии значительно расширяются, если использовать цветные фотоснимки. Цветная стереоскопическая фотография позволяет наблюдать большой орган или часть его и обнаруживать изменения не только формы, но и цвета. Цветная стереоскопическая фотография дает возможность четко фиксировать отдельные моменты из курса лечения и оперативного вмешательства.

Применение соответствующей инфракрасной радиации дает возможность обнаруживать такие детали, которые при обычном осмотре не замечаются, например очаги воспаления или же при исследовании глаза с бельмом.

Альбомы цветных стереофотографий, показывающих характерные признаки появления или течения болезни, являются наглядными пособиями для врачей и дают им возможность не только правильно ставить диагноз, но и определять фазу заболевания.

Большое применение может найти цветная стереофотография для учебно-медицинских целей путем создания изображений, заменяющих наблюдение объектов в натуре, путем запечатлевания наиболее интересных и важных приемов опытного врача. Эти материалы служат очень

хорошими демонстрационными материалами при чтении лекций.

В данном случае соединение искусства стереофотографии с точным знанием дела может принести неоценимые по своей значимости плоды в области здравоохранения широких слоев населения, особенно в сельской местности.

Объемные изображения в лучах квантовых генераторов

Излучение оптических квантовых генераторов является монохроматическим и когерентным с большой степенью точности. Эти качества лазерного луча дали возможность осуществить принципиально новый метод получения объемных изображений, названный голографией. Буквально это слово означает «полную запись», т. е. запись всей (полной) информации, переносимой световыми волнами, как их амплитудами, так и фазами, при фиксации их светочувствительными материалами.

Голография, как новая область науки и техники, возникла несколько лет назад и получила очень большое развитие благодаря успехам квантовой электроники главным образом в создании оптических квантовых генераторов.

Современная фотография достигла огромных успехов в создании фотоаппаратов с замечательной оптикой и совершенной механикой. За время существования фотографии чувствительность фотоматериалов возросла в десятки тысяч раз. Однако принципиальные основы фотографии не изменились. Так же как и 100 лет назад, для получения фотонизображения объекта нужно зафиксировать излучение, испускаемое им, или же свет, отразившийся от него, на светочувствительном слое. Каждая точка объекта в последнем случае является центром рассеяния падающего света: она посылает световые лучи (или, что то же самое, расходящиеся сферические световые волны), которые фокусируются с помощью линз на светочувствительном слое. Так как отражательная способность объекта съемки в разных точках неодинакова, то плотность потока излучения (интенсивность света), попадающая на соответствующие участки фотослоя, будет различной. Это обстоятельство приводит к тому, что после проявления фотослоя на нем получается негативное двухмерное изображение трехмерного объекта.

В процессе обычного фотографирования на светочувствительном слое фиксируется лишь распределение интен-

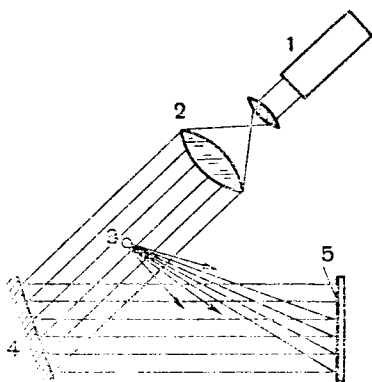


Рис. 64. Схема получения голограммы от точечного объекта: 1 — лазер, 2 — линзы, 3 — точечный объект, 4 — плоский отражатель, 5 — светочувствительный слой

сивности световых волн, отраженных и рассеянных от объекта. Так как интенсивность света пропорциональна квадрату амплитуды световой волны, то при обычном фотографировании используется только та часть информации об объекте, которая содержится в изменениях амплитуды (интенсивности) рассеянного от него излучения. Однако световые волны характеризуются не только амплитудой, но и фазой. Информация об объекте качественно значительно возрастет, если зафиксировать на светочувствительном слое не

только амплитуду, но и фазу отраженного от объекта фотосъемки излучения. Следовательно, сущность голографии заключается в процессе регистрации на светочувствительном слое амплитуды и фазы световых волн, испускаемых или рассеиваемых объектом фотосъемки. Чтобы зафиксировать фазы световых волн при получении голограмм, используется явление интерференции. При получении голограммы объекта рассеянные им световые волны интерферируют с лучом света, идущим непосредственно от когерентного источника (лазера) и называемым опорным лучом.

Происходит это следующим образом (рис. 64). Луч света от непрерывно действующего газового лазера 1 проходит через систему 2, расширяющую его поперечное сечение (например, через линзы). На пути такого широкого пучка света ставится голографируемый объект 3 и зеркало 4. Отраженный от зеркала свет попадает на светочувствительный слой 5. Следовательно, светочувствительный слой освещается как рассеянными, так и опорными лучами. Перед фотопластинкой нет никаких фокусирующих устройств, так что на любой участок ее поверхности падает

излучение от всего объекта, и наоборот. — любая точка объекта посылает рассеянные лучи на весь светочувствительный слой. Опорный и рассеянный лучи интерферируют, причем если колебания в них происходят в фазе, то они усиливаются, а если в противофазе, — то ослабляются. Следовательно, голограмма, образующаяся в фотослое, является, по существу, фотографией интерференционной картины световых волн. Получаемое изображение кажется трехмерным.

Ясно, что в отличие от обычных фотографий для получения голограммы, во-первых, не нужны оптические системы, создающие изображение объекта, во-вторых, нужен источник когерентного, монохроматического излучения, затем еще нужен опорный луч, создаваемый путем разделения первоначального излучения на два луча.

В получаемой голограмме запечатлена вся информация об амплитудах и фазах прошедшей электромагнитной волны (прошедшего света). Чтобы увидеть изображение, нужно осветить голограмму однородным когерентным светом. Те волны, которые выйдут из голограммы, будут в точности совпадать с волнами, рассеянными объектом.

Глядя на фотослой, мы увидим объемное мнимое изображение объекта, а если сфокусировать прошедший свет, то увидим его действительное изображение. Все происходит так, как будто это не голограмма, а реальный предмет. Ни глазом, ни каким другим прибором нельзя отличить восстановленные голограммой световые волны, от волн, исходящих от объекта.

Контрастность изображения совершенно не зависит от контрастности светочувствительного слоя и поэтому нет негативных голограмм. Следовательно, можно переснять голограмму с одной фотопластины на другую, при этом черное станет белым, и наоборот, но обе пластинки будут восстанавливать одно и то же изображение.

Голографирование связано с получением четких и устойчивых интерференционных картин, поэтому получение хороших результатов при экспонировании в течение многих секунд связано с жестким креплением частей установки на тяжелых массивных подставках, чтобы отсутствовало какое-либо смещение в процессе экспонирования. Эти требования смягчаются при употреблении лазеров относительно большой мощности.

На пластинках с толстым слоем фотографической эмульсии могут быть получены цветные голограммы. Прав-

да, пользуясь явлением образования стоячих световых волн внутри толстослойной фотографической эмульсии, можно получить после обработки такого слоя изображение объекта в натуральных цветах. Этот метод был предложен Г. Липпманом еще в конце прошлого века. Если направить на такую пластинку луч белого света под тем же углом, под которым производилось освещение, то можно увидеть изображение объекта в натуральных цветах. Однако это изображение будет плоским, в отличие от голограммы.

На одной и той же пластинке могут быть получены сотни различных голограмм. Для этого при последовательном голографировании фотопластинка ставится под разными углами и, кроме того, может освещаться светом различной длины волны. То или иное изображение воспроизводится независимо от других при заданных условиях освещения пластинки.

С помощью голограммы получают сильно увеличенное изображение предмета, т. е. используют ее вместо микроскопа, что расширяет возможности исследования очень малых объектов. Применение голограмм для целей микроскопии имел в виду изобретатель голографии Д. Габор, предложивший этот метод в 1947 г. Однако интерес к этому открытию возрос после появления квантовых генераторов.

Голограмма может быть снята в рентгеновских лучах с очень большой степенью разрешения, а изображение воспроизведено в видимом свете.

С голографированием связана исключительно высокая надежность хранения информации, записанной в виде голограммы, так как каждая точка объекта съемки получается на всей поверхности светочувствительного слоя, в то время как при обычном фотографировании она фиксируется лишь на очень небольшом участке слоя. Поэтому если на фотопластинке сделать несколько царапин или частично снять эмульсию, изображение почти не изменится, все его детали сохранятся. Если даже разбить пластинку на несколько частей, то какую бы часть ее ни взять, она все равно даст изображение всего объекта, но это изображение будет значительно менее ярким и четким, чем изображение, даваемое всей пластинкой.

Большое значение для голографии имеют фотоматериалы, в первую очередь, их зернистость. Обычные фотографические эмульсии представляют собой не сплошную среду, а взвесь светочувствительных микрокристаллов, расположенных на некотором расстоянии друг от друга.

Такая структура фотоэмульсий приводит к тому, что на голограмме записывается не непрерывное распределение яркости интерференционной картины, а лишь ее фрагменты.

Зернистая структура фотослоя оказывает существенное влияние на качество изображения при просвечивании готовой голограммы, что связано с рассеянием света на проявленных зернах. Это обстоятельство приводит к возникновению светового фона, на котором рассматривается изображение. Это рассеяние, однако, уменьшается при уменьшении размеров зерна. Поэтому в голографии очень важно использовать мелкозернистые, но достаточно светочувствительные эмульсии. Применение их снижает световой фон от рассеянного света (это явление называют также шумом в изображении). Чем выше разрешающая способность эмульсий, тем лучше качество получаемого изображения.

Однако фотоэмульсии помимо зернистости слоя имеют и другой недостаток — их нельзя использовать много раз. Для целей перезаписи информации они непригодны. Поэтому ведутся поиски новых материалов для голографии. Перспективными в этом отношении могут оказаться термопластики и фототермопластинки, не имеющие зернистой структуры, что вместе с тем не исключает появления и других материалов.

Большое значение для качества голограммы также имеет плоскопараллельность поверхностей подложки, на которую наносится светочувствительный слой. В случае, когда стеклянная подложка светочувствительного слоя не является строгопараллельной, отражение света от ее задней поверхности, граничащей с окружающей средой-воздухом, вызывает появление интерференционных полос равной толщины. Интенсивность этих полос при неблагоприятных условиях достаточна для образования в фотоувствительном слое, после его проявления, заметного фонового почернения с периодической структурой. При освещении фотослоя лазерным лучом этот интерференционный эффект особенно значителен и в то же время для голограмм совершенно недопустим. С целью устранения этого эффекта задняя сторона пластинки приводится в полное соприкосновение с веществом, имеющим такой же показатель преломления, что и стекло ($\sim 1,5$), например, смесь толуола и метил хлороформа, чем исключается отражение от задней поверхности пластинки.

Несмотря на то, что голография находится еще в начальной стадии своего развития, области ее применения непрерывно увеличиваются. Следует ожидать и эффективного применения голографии для создания стереоскопического кино и телевидения. Уже были сняты первые голограммные фильмы. Один из них состоял из 60 кадров и демонстрировался в течение 3 сек.

Кандидату физико-математических наук Ю. Н. Денисюку присуждена Ленинская премия в области науки и техники 1970 года за цикл работ «Голография с записью в трехмерной среде».

Эти работы открывают новые перспективы применения голографии в кино и телевидении. Они дают возможность получать цветные объемные изображения при освещении голограмм дневным светом.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Кравков, Глаз и его работа, М., АН СССР, 1950.
2. С. И. Вавилов, Глаз и солнце. О «холодном» и «горячем» свете, М., АН СССР, 1959.
3. Р. Бинк, Р. Брюккер, Мозг и глаз, Л., Медгиз, 1959.
4. А. К. Клементьев, Стереоскопия в архитектуре и строительстве, М., Госстройиздат, 1952.
5. Б. Т. Иванов, Стереоскопическая техника, М., «Искусство», 1956.
6. Б. Т. Иванов, Б. У. Барщевский, Объемные изображения, М., Гостехтеоретиздат, 1957.
7. Б. Т. Иванов, А. Л. Левингтон, Стереоскопическая фотография, М., «Искусство», 1959.
8. Н. А. Валюс, Стереоскопия, М., АН СССР, 1962.
9. Н. А. Валюс, Физика зрения, М., «Знание», 1963.
10. Н. А. Валюс, Растровые оптические приборы, М., «Машиностроение», 1966.
11. Е. К. Сонин, Радиоэлектроника спутников, М.—Л., «Энергия», 1966.
12. А. Л. Микаэлян, Голография, М., «Знание», 1968.
13. Б. У. Барщевский, Квантово-оптические явления, М. «Высшая школа», 1968.

*Борис Ушарович Барщевский,
Борис Тимофеевич Иванов*

ОБЪЕМНАЯ ФОТОГРАФИЯ

Редактор В. Богатова. Художественный редактор Э. ..но. Худож-
ник А. Купцов. Технические редакторы В. Богданова и А. ..Корректоры
Н. Прокофьева и Г. Харитонова

А08430. Сдано в набор 29/I-70 г. Подписано к печати 10/VI-70 г. Формат бума-
ги 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 5, ..-изд. л. 5,806.
Тираж 10 000 экз. Изд. № 16 552.

Издательство «Искусство», Москва, К-51, Цветной бульва ..Заказ № 846.
Цена 29 коп.

Ярославский полиграфкомбинат Главполиграфпрома Коми ..га по печати при
Совете Министров СССР. Ярославль, ул. Свободы, 97.